



**David António Braga Soldado**

Licenciado em Biotecnologia

## **Desenvolvimento de metodologia para a conservação de figo da índia em IV gama**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Bioquímica

Orientador: Doutora Eliana Jerónimo, CEBAL  
Co-orientador: Doutora Isabel Coutinho, Faculdade de  
Ciências e Tecnologia – UNL

Júri  
Presidente: José Ricardo Franco Tavares  
Arguente: Margarida Moldão Martins  
Vogal: Eliana Jerónimo Alves



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Outubro, 2014**





FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA



**David António Braga Soldado**

Licenciado em Biotecnologia

## **Desenvolvimento de metodologia para a conservação de figo da índia em IV gama**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Bioquímica

Orientador: Doutora Eliana Jerónimo, CEBAL

Co-Orientador: Doutora Isabel Coutinho, Faculdade de Ciências e  
Tecnologia – UNL

Júri

Presidente: José Ricardo Franco Tavares

Arguente: Margarida Moldão Martins

Vogal: Eliana Jerónimo Alves

**Outubro, 2014**





Desenvolvimento de metodologia para a conservação de figo da índia em IV gama

Copyright David Soldado, FCT/UNL, UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor



## **Agradecimentos**

A realização deste trabalho foi possível devido ao contributo de diversas pessoas.

Em primeiro lugar, quero agradecer à Doutora Eliana Jerónimo o acompanhamento incansável desde o primeiro até ao último dia. Agradeço toda a disponibilidade para me receber e integrar no seu grupo de investigação, a constante orientação, os conselhos e incentivos e, acima de tudo, a enorme paciência e encorajamento demonstrados nas fases mais complicadas. Um muito obrigado pelo excelente acompanhamento neste ano tão importante para a minha formação.

Agradeço à minha co-orientadora, a Doutora Isabel Coutinho, por toda a disponibilidade e aconselhamento que me cedeu ao longo do trabalho.

Gostaria de agradecer à Flávia Fernandes, toda a disponibilidade, ajuda e conselhos cedidos no início e decorrer do meu trabalho. Estares sempre disposta a ajudar e a dar conselhos foi muito importante para a execução do trabalho. Um muito obrigado. À Daniela Rodrigues agradeço toda a disponibilidade, paciência e ajuda no início do trabalho. Os teus ensinamentos iniciais foram muito valiosos no decorrer do ensaio. Agradeço à Susana Sengo os conselhos diários nas mais diversas tarefas no laboratório e a boa disposição sempre demonstrada. Quero ainda agradecer ao Miguel Ferro, pela grande ajuda na montagem e execução do método de HPLC.

Agradeço assim a todo o pessoal do Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL) pela simpatia, dinâmica, integração, espírito de entreajuda e, principalmente, a todos os conhecimentos que me transmitiram, nas mais diversas áreas, ao longo da minha estadia no laboratório.

Agradeço o apoio de todos os meus amigos, em especial à minha grande amiga Liliana, todo o apoio, incentivo e motivação que sempre me deu quando mais precisei. As tuas palavras não eram apenas reconfortantes, eram aquela motivação extra que faltava quando surgia mais um obstáculo. Um grande obrigado.

Por fim, mas não em último, agradeço à minha família. Todo o vosso apoio e motivação foram importantes para conseguir caminhar ao longo deste percurso. Agradeço em especial aos meus pais, pelo apoio e incentivo desde o início. Um muito obrigado pela ajuda em mais uma etapa importante da minha vida.

Obrigado por tudo!



## Abstract

Prickly pear (*Opuntia ficus indica*) is a tropical fruit with a great nutritional and functional importance. The presence of spines in the fruit's surface and the lack of knowledge in its preparation and consumption, create a limitation to spread this fruit, so its minimal processing can provide a great opportunity to increase its consumption and production. So, the aim of the present work was to evaluate the effectiveness of ascorbic acid, citric acid and calcium chloride application, by immersion or combined with an alginate coating, in order to maintain the quality of prickly pear slices, stored at 4°C.

Prickly pear slices (orange colour) were submitted to one of the following treatments: i) slices without manipulation (Control – C); ii) slices immersion in 1% citric acid, 1% ascorbic acid and 1% calcium chloride (ACC); iii) slices immersion in a sodium alginate solution, followed by an immediate immersion in 1% citric acid, 1% ascorbic acid and 1% calcium chloride (ALG). After drying, slices were stored at 4°C, for 11 days. During the storage period the following parameters were evaluated: pH, total soluble solids, titrable acidity, texture, colour, microbial stability, total phenols, ascorbic acid, carotenoids, betaxanthins and anthocyanins and the antioxidant activity.

ACC and ALG treatments led to pH reduction and an increase in titrable acidity, ascorbic acid content and antioxidant activity in slices, comparatively to control. However, ACC and ALG treatments did not lead to an improvement in texture, colour and microbial stability during the storage time. Regardless of the applied treatment, the antioxidant activity, the total phenols, ascorbic acid content, anthocyanins and carotenoids content kept relatively constant during the storage time.

**Keywords:** *Opuntia ficus indica*, minimal processing, immersion, edible coating, physico-chemical properties, antioxidant activity



## Resumo

O figo da Índia (*Opuntia ficus indica*) é um fruto tropical com elevada importância nutricional e funcional. A presença de espinhos na superfície do fruto e o desconhecimento por parte de muitos consumidores quanto à forma de preparação constituem uma limitação à difusão deste fruto, pelo que o fornecimento de figo da Índia pronto a comer pode ser uma oportunidade para aumentar o seu consumo. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficácia da aplicação de ácido ascórbico, ácido cítrico e de cloreto de cálcio por imersão ou em combinação com um revestimento de alginato de sódio na manutenção da qualidade de fatias de figo da Índia conservadas a 4°C.

Fatias de figo da Índia (cor laranja) foram sujeitas a um dos seguintes tratamentos: *i*) sem manipulação (controlo - C); *ii*) imersão em 1% de ácido cítrico, 1% de ácido ascórbico e 1% de cloreto de cálcio (ACC); *iii*) imersão numa solução de alginato de sódio, seguida de imersão em 1% de ácido cítrico, 1% de ácido ascórbico e 1% de cloreto de cálcio (ALG). Após secagem as fatias foram armazenadas a 4°C durante 11 dias. Ao longo da conservação foram avaliados os seguintes parâmetros: pH, sólidos solúveis totais, acidez titulável, textura, cor, qualidade microbiológica, teor em fenóis totais, ácido ascórbico, carotenóides, bentaxantinas e em antocianinas, e a atividade antioxidante.

Os tratamentos ACC e ALG conduziram à redução do pH, e aumento da acidez titulável, da concentração em ácido ascórbico e da atividade antioxidante nas fatias, comparativamente com o controlo. No entanto, os tratamentos ACC e ALG não conduziram à melhoria da firmeza, cor e estabilidade microbiológica ao longo do período de conservação. Independente do tratamento aplicado, a atividade antioxidante, os teores em fenóis totais, ácido ascórbico, betaxantinas, antocianidinas e em carotenóides mantiveram-se relativamente constantes ao longo do armazenamento.

**Palavras-chave:** figo da Índia, processamento mínimo, imersão, revestimento comestível, propriedades físico-químicas, atividade antioxidante





## Índice

|   |      |
|---|------|
| <b>Agradecimentos</b> .....   | i    |
| <b>Abstract</b> .....   | iii  |
| <b>Resumo</b> .....   | v    |
| <b>Índice de figuras</b> .....  | ix   |
| <b>Índice de tabelas</b> .....  | xi   |
| <b>Lista de abreviaturas</b> .....  | xiii |
| <br>  |      |
| <b>1. Introdução</b> .....  | 1    |
| 1.1 – Produtos hortofrutícolas minimamente processados .....  | 1    |
| 1.1.1 – Alterações bioquímicas e fisiológicas em produtos hortofrutícolas minimamente processados .....             | 2    |
| 1.1.2 – Metodologias para prevenção de perda de qualidade em produtos hortofrutícolas minimamente processados ..... | 5    |
| 1.2 – Figo da Índia .....   | 11   |
| 1.3 – Objetivos .....   | 16   |
| <br>  |      |
| <b>2. Material e métodos</b> .....  | 17   |
| 2.1 – Material vegetal .....  | 17   |
| 2.2 – Processamento mínimo .....  | 17   |
| 2.3 – Sólidos Solúveis Totais, Acidez Titulável e pH .....  | 19   |
| 2.4 – Cor .....   | 19   |
| 2.5 – Firmeza .....   | 19   |
| 2.6 – Análise microbiológica .....  | 19   |
| 2.7 – Extrato metanólico .....  | 20   |
| 2.8 – Fenóis totais .....   | 20   |
| 2.9 – Antocianidinas totais .....   | 21   |
| 2.10 – Ácido ascórbico .....  | 21   |
| 2.11 – Carotenóides .....   | 22   |
| 2.12 – Betalainas .....   | 22   |
| 2.13 – Atividade antioxidante .....   | 22   |
| 2.13.1 – Método do 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) .....   | 22   |
| 2.13.2 – Método da captura do radical livre ABTS <sup>+</sup> .....   | 23   |
| 2.14 – Análise estatística .....  | 24   |
| <br>  |      |
| <b>3. Resultados e discussão</b> .....  | 25   |
| 3.1 – Sólidos solúveis totais, acidez titulável e pH .....  | 25   |
| 3.2 – Firmeza .....   | 27   |
| 3.3 – Cor .....   | 28   |
| 3.4 – Análise microbiológica .....  | 29   |
| 3.5 – Fenóis Totais .....   | 31   |
| 3.6 – Ácido ascórbico .....   | 32   |
| 3.7 – Antocianidinas .....  | 33   |
| 3.8 – Carotenóides .....  | 34   |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 3.9 – Betalaínas .....              | 35        |
| 3.10 – Atividade antioxidante ..... | 35        |
| <b>4 – Conclusões .....</b>         | <b>39</b> |

## Índice de figuras

|                   |           |   |
|-------------------|-----------|---|
| <b>Figura 1.1</b> | Página 1  | Esquema geral da produção de hortofrutícolas minimamente processados (adaptado de James & Ngarmsak, 2011)   |
| <b>Figura 1.2</b> | Página 3  | Ação da PPO na formação de compostos acastanhados   |
| <b>Figura 2.1</b> | Página 18 | Esquema do processamento do figo da Índia   |
| <b>Figura 3.1</b> | Página 25 | Teor em sólidos solúveis totais (A), acidez titulável (B) e pH (C) das fatias de figo da Índia, ao longo de 11 dias de conservação a 4°C.                                       |
| <b>Figura 3.2</b> | Página 27 | Variação da firmeza nas fatias de figo da Índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C.   |
| <b>Figura 3.3</b> | Página 30 | Crescimento microbiano nas fatias de figo da Índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C. Mesófilos totais - A e bolores e leveduras – B.                                    |
| <b>Figura 3.4</b> | Página 31 | Conteúdo em fenóis totais nas fatias de figo da Índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C.   |
| <b>Figura 3.5</b> | Página 32 | Teor em ácido ascórbico (quantificado por HPLC) nas fatias de figo da Índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C  |
| <b>Figura 3.6</b> | Página 33 | Conteúdo em antocianidinas ao longo de 11 dias de conservação a 4°C.  |
| <b>Figura 3.7</b> | Página 34 | Conteúdo em carotenóides ao longo de 11 dias de conservação a 4°C   |
| <b>Figura 3.8</b> | Página 35 | Conteúdo em betaxantinas nas fatias de figo da Índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C   |
| <b>Figura 3.9</b> | Página 36 | Atividade antioxidante nas fatias de figo da Índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C, observada pelo método do DPPH (A) e pelo método do radical ABTS <sup>•+</sup> (B). |



## Índice de tabelas

|                   |           |   |
|-------------------|-----------|---|
| <b>Tabela 1.1</b> | Página 13 | Principais características químicas e nutritivas da polpa de figo da Índia (adaptado de Feugang <i>et al.</i> , 2006; Piga, 2004) |
| <b>Tabela 1.2</b> | Página 15 | Estudos e principais resultados obtidos em trabalhos com figo da Índia minimamente processado                                     |
| <b>Tabela 3.1</b> | Página 28 | Parâmetros da cor em fatias de figo da Índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C   |



## Lista de abreviaturas

|         |   |
|---------|---|
| AA      | Ácido ascórbico                                       |
| AAE     | Equivalentes de ácido ascórbico                       |
| AC      | Ácido cítrico   |
| APROFIP | Associação de produtores portugueses de figo da Índia |
| AT      | Acidez titulável                                      |
| CAM     | Metabolismo ácido das crassuláceas                    |
| Cy3g    | cyanidine 3-glucoside                                 |
| DPPH    | 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl                         |
| HPLC    | Cromatografia líquida de alta performance             |
| LOX     | Lipoxigenase  |
| MAP     | Embalamento em atmosfera modificada                   |
| PCA     | Plate count agar                                      |
| PET     | Politereftalato de etileno                            |
| PG      | Poligalacturonase                                     |
| PME     | Pectinametilesterase                                  |
| POD     | Peroxidase  |
| PPO     | Polifenol oxidase                                     |
| PVC     | Cloreto de polivinilo                                 |
| SST     | Sólidos solúveis totais                               |
| TEAC    | Trolox equivalent antioxidant activity                |
| UV      | Ultravioleta  |



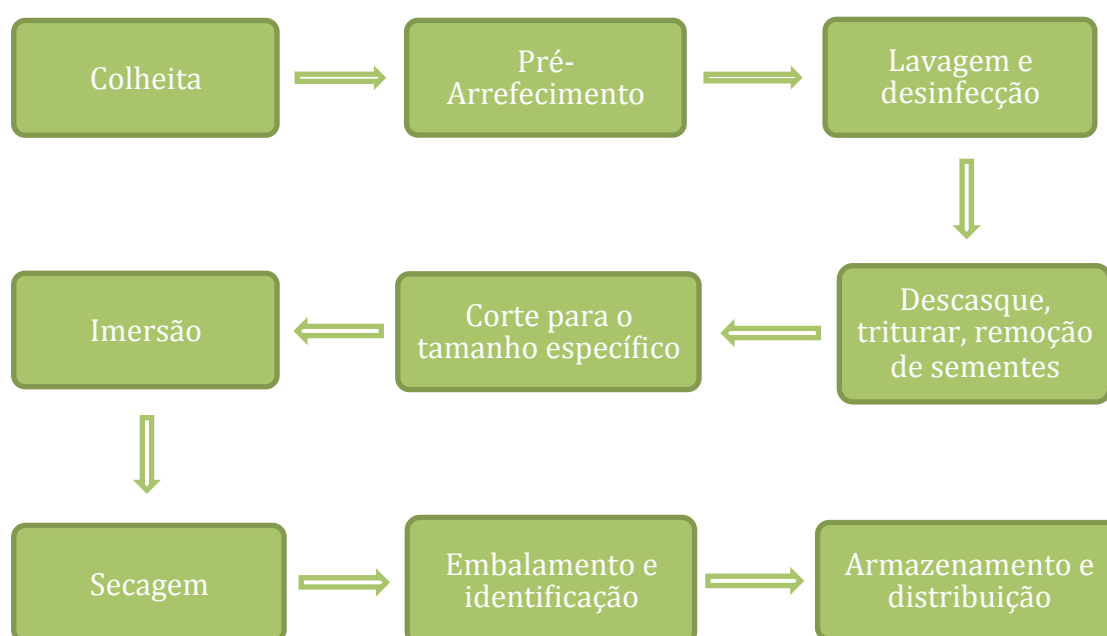


## 1. Introdução

### 1.1 – Produtos hortofrutícolas minimamente processados

Os produtos hortofrutícolas minimamente processados, também designados por produtos de IV (4ª) gama ou frescos cortados (fresh-cut), são todos os frutos e vegetais que sofreram alterações físicas, dando origem a um produto totalmente utilizável que mantém as principais características do seu congénere inteiro, oferecendo um produto de elevada qualidade nutricional e sensorial, associada à conveniência de utilização (James & Ngarmsak, 2011; Barros, 2007)

Estes frutos e vegetais prontos a comer são obtidos através da aplicação de uma combinação de operações unitárias, tais como lavagem, descasque e corte, sendo variáveis as operações realizadas de acordo com o tipo de matéria-prima utilizada e metodologias utilizadas para conservação do produto. Na **Figura 1.1** é apresentado um esquema que engloba os passos principais na produção de hortofrutícolas minimamente processados. Independentemente do uso de aditivos e do tipo de embalagem, os frutos e vegetais minimamente processados são mantidos a temperaturas de refrigeração,  $\leq 5^{\circ}\text{C}$ , de forma a garantir a qualidade e segurança alimentar do produto ao longo de toda a cadeia de distribuição e comercialização. O tempo de prateleira destes produtos difere entre tipo de produto e condições de conservação, podendo variar entre os 7 e os 20 dias (Ahvenainen, 1996; Watada & Qi, 1999).



**Figura 1.1** - Esquema geral da produção de hortofrutícolas minimamente processados (adaptado de James & Ngarmsak, 2011)

Desta forma, o processamento mínimo de frutas e vegetais tem dois propósitos: por um lado como forma de manter a frescura do produto, para além de o fornecer numa forma conveniente e sem perda de valor nutricional; por outro lado como forma de garantir um tempo de vida útil compatível com as necessidades de toda a cadeia de distribuição e comercialização (Ahvenainen, 1996).

A facilidade de consumo, frescura, o valor nutricional, a segurança e experiência sensorial tornam os produtos hortofrutícolas minimamente processados cada vez mais apelativos para os consumidores. Associado a este tipo de produtos está também a redução do desperdício familiar e o menor volume a transportar, uma vez que é apenas fornecido ao consumidor a fração comestível do fruto ou vegetal (James & Ngarmasak, 2011).

Na Europa, a indústria dos minimamente processados tem demonstrado um crescimento exponencial desde os anos 80. Países como a Holanda, Suíça, Itália e Espanha já têm um mercado estabelecido para este tipo de produtos e revelam um forte crescimento neste sector. O comer saudável e fora de casa, é um dos principais fatores que tem levado ao crescimento deste mercado de forma global (James & Ngarmasak, 2011).

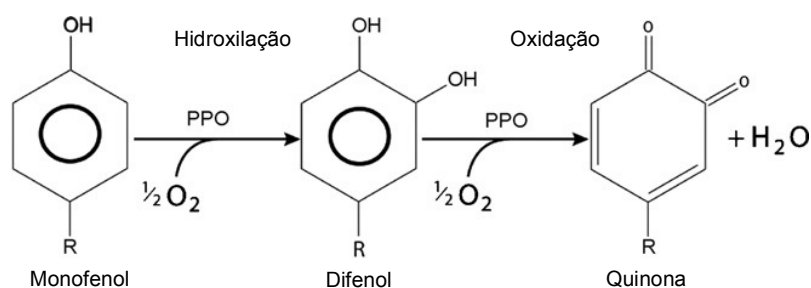
#### **1.1.1 – Alterações bioquímicas e fisiológicas em produtos hortofrutícolas minimamente processados**

Após colheita, os produtos hortofrutícolas mantêm-se metabolicamente ativos. Ao serem sujeitos a processamento mínimo, a sua deterioração é aumentada, quer pela remoção da casca (principal elemento protetor), quer pelos danos mecânicos sofridos pelas células (Barros, 2007). As operações mecânicas (descasque, corte, trituração) são um dos fatores críticos no limitar do tempo de prateleira dos produtos. O estado de maturação dos frutos e as condições dos equipamentos de processamento são os fatores que mais influenciam os danos infligidos nos tecidos, pelas operações mecânicas (Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003). Alguns estudos referem que em todas as operações onde se utilizem lâminas, estas devem ser o mais afiadas possível e de aço inoxidável, o que resulta num menor número de células danificadas e numa menor perda de água (Ahvenainen, 1996; Watada & Qi, 1999).

As lesões provocadas pelo corte levam ao aumento da taxa de respiração, da perda de água e, no caso de produtos climatéricos, à produção de etileno. O aumento da taxa de respiração pode variar de 20 a 700%, em função do produto, do tipo de corte e da temperatura de armazenamento (Barros, 2007). Além de provocar a ruptura de células à superfície, o corte induz também lesões nos tecidos adjacentes. Através do corte, são colocados em contacto enzimas e substratos, normalmente localizados em compartimentos

diferentes da célula, o que desencadeia uma série de reações bioquímicas, que levam a alterações de cor, aroma e firmeza dos tecidos (Barros, 2007)

As alterações de cor e textura são duas características fundamentais que determinam a aceitação dos produtos minimamente processados pelos consumidores, uma vez que estão intimamente ligadas à deterioração dos tecidos, e como tal podem ser utilizadas como medidas de declínio de frescura e qualidade (Toivonen & Brummell, 2008). O escurecimento enzimático é responsável pelas principais alterações de cor nos produtos minimamente processados (Ahvenainen, 1996; Toivonen & Brummell, 2008). As reações de escurecimento resultam da interação da enzima polifenol oxidase (PPO) com compostos fenólicos na presença de oxigénio (Oms-Oliu *et al.*, 2010; Barros, 2007; Toivonen & Brummell, 2008). A enzima polifenol oxidase (PPO) catalisa duas reações: a hidroxilação de monofenóis a difenóis e a oxidação de difenóis a quinonas (**Figura 1.2**). A reação de hidroxilação é relativamente lenta e leva à formação de compostos incolores, enquanto que a reação de oxidação é mais rápida e as quinonas resultantes são coradas. Estas últimas sofrem ainda reações não-enzimáticas subsequentes com aminoácidos e proteínas, que levam à acumulação de melanina, o pigmento castanho associado ao escurecimento enzimático (Toivonen & Brummell, 2008).



**Figura 1.2** - Ação da PPO na formação de compostos acastanhados

Para além da PPO, é sugerido por vários autores a participação da enzima peroxidase (POD) nos processos de escurecimento enzimático (Chisari, Barbagallo, & Spagna, 2007; Oms-Oliu *et al.*, 2010; Toivonen & Brummell, 2008). A POD oxida dadores de hidrogénio na presença de peróxido de hidrogénio ( $H_2O_2$ ) (Oms-Oliu *et al.*, 2010). Como o  $H_2O_2$  se encontra em níveis muito baixos nos tecidos vegetais, tem sido questionado o papel desta enzima no escurecimento enzimático. No entanto, vários autores sugerem uma possível interação sinérgica entre a PPO e a POD, uma vez que durante a oxidação de alguns compostos fenólicos, catalisada pela PPO, existe a formação de  $H_2O_2$ , o que pode explicar o envolvimento da POD nos processos de escurecimento (Oms-Oliu *et al.*, 2010; Toivonen & Brummell, 2008). Além das mudanças na cor associadas ao escurecimento enzimático, existem outros pigmentos que podem influenciar a cor dos produtos minimamente processados. Os carotenóides, pigmentos amarelos, vermelhos ou laranjas que se encontram nos tecidos vegetais e as clorofilas, são altamente suscetíveis ao stress

oxidativo, o que os deteriora com consequente perda de cor (Altunkaya & Gökmen, 2011). A oxidação de antocianidinas, pigmentos associados às cores laranja, vermelho e azul (Bezerra *et al.*, 2013) está também associada à deterioração da qualidade visual e nutricional dos produtos (Barros, 2007).

Para o consumidor, existe uma grande expectativa em que processamento mínimo de um produto não interfira nas suas propriedades sensoriais. A sensação na boca provocada por um fruto ou vegetal é influenciada por dois fatores principais – a firmeza e a suculência (Toivonen & Brummell, 2008). A firmeza de um produto hortofrutícola é principalmente determinada pela estrutura e composição da parede celular, que são características da espécie e do tecido, e são determinadas por fatores genéticos, mas também por fatores ambientais e pelo manuseio pós-colheita do produto (Toivonen & Brummell, 2008). A parede celular é uma unidade polimérica, que compreende uma estrutura fibrosa de celulose envolta por uma complexa matriz de pectina, hemicelulose, proteínas estruturais e alguns compostos fenólicos (Sila *et al.*, 2008). Além das mudanças que ocorrem na parede celular durante o amadurecimento, o processamento mínimo torna-se num stress adicional para a célula. Os produtos minimamente processados são tecidos danificados, pelo que a sua deterioração ocorre mais rapidamente e a sua fisiologia é diferente do congénere inteiro (Toivonen & Brummell, 2008). As várias operações mecânicas aplicadas aos produtos expõem substratos e enzimas que normalmente estão separados e podem iniciar reações que em condições normais não ocorrem. Destas enzimas, existem duas cuja atividade na fragilização da parede celular é bem conhecida: a pectinametilesterase (PME) e a poligalacturonase (PG) (Oms-Oliu *et al.*, 2010; Barros, 2007; Toivonen & Brummell, 2008). A PME é responsável pela demetoxilação da pectina, o que dá origem à formação de pectina carboxilada, com libertação de metanol. Esta pectina carboxilada fica então disponível para ser utilizada como substrato da enzima PG, que a despolimeriza (Sila *et al.*, 2008). O processamento mínimo além de acelerar a taxa de respiração, aumenta a produção de etileno (Francis *et al.*, 2012). É sabido que a PG é uma enzima regulada pelo etileno, pelo que, em frutos minimamente processados, o aumento da produção de etileno, promove indiretamente a atividade da PG (Toivonen & Brummell, 2008).

A perda de água e as mudanças osmóticas são também importantes fatores na quebra da textura. A perda de água leva a uma perda da turgescência e de rigidez, sendo ainda mais rápida nos frutos minimamente processados, devido à ausência da cutícula e de camadas epidérmicas, que levam à exposição dos tecidos internos (Toivonen & Brummell, 2008).

O valor nutricional é cada vez mais valorizado nos produtos hortofrutícolas (Barrett *et al.*, 2010). Os frutos e os vegetais são uma fonte rica de nutrientes, desde vitaminas (vitamina C, vitamina A, vitamina B6, tiamina, niacina), minerais, fibra e, ainda polifenóis,

carotenóides e glucosinolatos (Barrett *et al.*, 2010; Gil *et al.*, 2006). Atualmente, ainda existe a ideia generalizada de que os produtos minimamente processados apresentam níveis inferiores de vitaminas e de compostos bioativos que os seus congêneres inteiros (Barros, 2007). No entanto, se por vezes existe a perda de qualidade dos produtos hortofrutícolas minimamente processados, existem diversos trabalhos que revelam que o valor nutricional e até a capacidade antioxidante podem ser mantidos ou incrementados (Barros, 2007). Gil *et al.* (2006) observou que em manga, morango e melancia minimamente processados, após 6 dias a 5 °C existiram perdas inferiores a 5% no conteúdo em vitamina C, comparativamente com os frutos inteiros. No mesmo trabalho, foi observado também que em nenhum dos frutos houve perdas significantes de fenóis totais e, ainda, nos cubos de manga e melancia houve um aumento no conteúdo em carotenóides, em resposta à exposição à luz. Mais recentemente, Ochoa-Velasco e Guerrero-Beltrán (2014) observaram um incremento no teor em fenóis totais e na atividade antioxidante em figo-da-índia revestido com quitosano.

Uma das principais questões a ter em conta nos alimentos minimamente processados é a contaminação microbiana. Durante o processamento mínimo, a proteção natural da fruta é removida, ficando assim altamente suscetível a este tipo de contaminação (Oms-Oliu *et al.*, 2010). Na embalagem, as condições de humidade, a presença de uma grande área de superfícies cortadas e a riqueza em nutrientes oferecem um ambiente favorável ao crescimento microbiano (Oms-Oliu *et al.*, 2010; Rico *et al.*, 2007). Além disso, as hipóteses de contaminação aumentam se os equipamentos estiverem previamente contaminados (contaminação cruzada) por frutos que não tenham sido eficazmente esterilizados (Oms-Oliu *et al.*, 2010).

### **1.1.2 – Metodologias para prevenção de perda de qualidade em produtos hortofrutícolas minimamente processados**

A qualidade da fruta e vegetais minimamente processados determina o seu valor para o consumidor e é uma combinação de parâmetros, que incluem a aparência, a textura, o sabor e o valor nutricional (Rico *et al.*, 2007). O processamento mínimo pode provocar alterações em todos estes parâmetros (Ahvenainen, 1996; Rico *et al.*, 2007). Quando se tem como princípio preparar um produto para este ser consumido no dia seguinte, podem-se aplicar métodos de processamento muito simples. Por outro lado, se o objetivo for preparar um alimento, que se pretenda ter um tempo de prateleira mais prolongado, são necessários tratamentos mais avançados (Ahvenainen, 1996).

### 1.1.2.1 – Higienização

A higienização é dos primeiros métodos de tratamento aplicados aos frutos. É normalmente feita através de uma passagem inicial por água corrente, para remover resíduos de pesticida, detritos da planta e outros possíveis contaminantes, seguida pela imersão em hipoclorito de sódio (entre os 50 e os 200 ppm), para desinfecção da superfície do fruto (Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003). Este método, apesar de ser o mais tradicional, não é o mais seguro. Desse modo, têm sido desenvolvidas novas formas de higienizar produtos minimamente processados. O dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) tem uma capacidade oxidativa cerca de 2,5 vezes superior ao hipoclorito de sódio e não reage com compostos azotados ou amoníaco, evitando a formação de compostos perigosos (Rico *et al.*, 2007). O peróxido de hidrogénio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) pode ser também utilizado como agente de higienização, aplicado por imersões, uma vez que possui uma atividade bactericida e inibitória, devido às suas propriedades como oxidante (Ahvenainen, 1996; Rico *et al.*, 2007). O ozono é um forte agente antimicrobiano, que é utilizado em conjunto com água para o tratamento de produtos minimamente processados, sendo que rapidamente se decompõe em oxigénio, sem deixar resíduos (Rico *et al.*, 2007). Um outro tipo de higienização é a água eletrolisada, gerada a partir da eletrólise de uma solução aquosa de cloreto de sódio, produzindo uma solução básica eletrolisada no cátodo e uma solução ácida no ânodo (Rico *et al.*, 2007). A radiação ultravioleta (UV) é um método também utilizado para a higienização de produtos minimamente processados, uma vez que actua como agente antimicrobiano e induz, indirectamente, mecanismos de resistência a patogénios em diversos frutos e vegetais (Rico *et al.*, 2007).

### 1.1.2.2 – Tratamentos térmicos moderados

O calor representa um papel importante na conservação dos alimentos. Além de ser utilizado na erradicação de pestes e agentes patogénicos, os tratamentos por calor são recomendados após a colheita como tratamentos não poluentes para o controlo de doenças e infestações por insetos (Sivakumar & Fallik, 2013). A aplicação de tratamentos térmicos moderados demonstra benefícios na conservação do fruto inteiro, bem como na manutenção da qualidade em produtos minimamente processados (Barros, 2007). Os tratamentos térmicos moderados possuem diversas vantagens sobre os tratamentos químicos, tais como, não deixar resíduos na fruta e são facilmente monitorizados. Estes tratamentos podem ser aplicados na forma de água quente, vapor quente, ar quente ou escovagem com água quente (Sivakumar & Fallik, 2013). Em produtos minimamente processados os efeitos dos tratamentos térmicos moderados podem ser diferentes quando aplicados antes ou após o corte, dependendo muito do tipo e variedade do fruto (Barros, 2007). Por exemplo, ameixas sujeitas a corte após tratamento térmico, a 45°C durante 10 minutos, apresentaram taxas de respiração e produção de etileno mais baixas que os frutos sem tratamento (Serrano *et al.*,

2004). No entanto, apesar da imersão de meloa em água a 50°C durante 1 hora ter conduzido à redução da taxa de respiração do fruto, o tratamento térmico de cubos deste fruto não apresentou nenhum efeito na taxa de respiração e produção de etileno (Barros, 2007). A aplicação de tratamentos térmicos moderados também auxilia na preservação da textura em produtos minimamente processados, uma vez que inativa enzimas que estão relacionadas com este tipo de processos degradativos.

### 1.1.2.3 – Tratamentos de Imersão

Os tratamentos de imersão em soluções aquosas têm como benefícios imediatos a remoção de enzimas e substratos, libertados pelas células danificadas durante o processamento, da superfície do produto, que podem comprometer a qualidade e o período de vida útil do produto (Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003; Barros, 2007). No entanto, a sua aplicação ao produto pode ter como finalidade a introdução de compostos com uma ação específica. São os tratamentos mais comuns no controlo do escurecimento enzimático (Oms-Oliu *et al.*, 2010; Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003). Por exemplo, a aplicação de compostos acidulantes através da imersão, provoca a diminuição do pH do fruto, o que é uma vantagem, uma vez que torna o fruto menos suscetível à contaminação microbiana (Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003) e inativa enzimas com atividade ótima a pH elevado (Toivonen & Brummell, 2008), como a PPO, responsável pelas reações de escurecimento enzimático.

Um dos compostos mais utilizados em tratamentos de imersão é o ácido ascórbico (AA) (Ahvenainen, 1996; Oms-Oliu *et al.*, 2010; Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003). A sua aplicação diminui o nível de escurecimento enzimático pela redução das o-quinonas para os seus substratos fenólicos, antes que elas se condensem e formarem pigmentos acastanhados. A imersão em solução com AA tem sido largamente aplicada em combinação com ácidos orgânicos e sais de cálcio para prevenir o escurecimento enzimático em frutos (Oms-Oliu *et al.*, 2010; Rico *et al.*, 2007). Além de reduzir as o-quinonas, o AA atua em parte na prevenção do stress na célula e na membrana e, modula também, a atividade da PPO em células danificadas, onde a perda da compartimentação já aconteceu, quelando o cobre no centro ativo da PPO, o que modula a sua atividade. No entanto este tratamento não é completamente eficaz, pois quando o AA for completamente oxidado em ácido desidroascórbico, as o-quinonas acumulam-se e participam em reações de polimerização, que levam à formação de pigmentos castanhos, cuja acumulação provoca o indesejado escurecimento enzimático (Ma *et al.*, 2010; Oms-Oliu *et al.*, 2010).

Além do AA, têm sido largamente utilizados ácidos carboxílicos em tratamentos de imersão, devido à sua atividade anti-escurecimento. O ácido cítrico exerce um efeito inibitório duplo, uma vez que reduz o pH do produto e quela o cobre no centro ativo da PPO,

inativando a enzima (Oms-Oliu *et al.*, 2010). Estes compostos não são normalmente utilizados sozinhos, porque é difícil atingir uma inibição eficiente do escurecimento, sendo que, através de uma combinação com um redutor químico, o efeito poderá ser maior (Oms-Oliu *et al.*, 2010). Por exemplo, Oms-Oliu *et al.* (2010) observaram uma inibição superior a 90% na atividade da PPO em cubos de maçã, pelo uso de uma mistura de 1% AA + 0,2% ácido cítrico ou 1% AA + 0,5% cloreto de sódio.

Outros ácidos carboxílicos, como o ácido oxálico e o ácido oxaloacético mostraram uma maior capacidade anti-escurecimento em maçãs (Oms-Oliu *et al.*, 2010). O ácido oxálico é um composto natural num grande número de plantas, como os espargos, brócolos, couves de bruxelas, cenoura, alho, alface, cebola, coentros, feijão. Apesar do mecanismo de inibição do escurecimento ainda não ser conhecido, pensa-se que o ácido oxálico inibe a PPO por si só, quelando o cobre do local ativo da enzima, uma vez que este ácido oxálico tem uma grande afinidade para formar complexos metálicos com o ião cobre (Oms-Oliu *et al.*, 2010).

Tratamentos de imersão em soluções de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) são muito utilizados no tratamento de fruta minimamente processada, principalmente pela sua capacidade em manter a textura do fruto (Oms-Oliu *et al.*, 2010). O cálcio ajuda a manter a integridade da parede celular, através da interação com a pectina, para formar pectato de cálcio. Segundo está descrito, o cálcio ajuda a manter a firmeza dos frutos, pois faz ligações cruzadas entre a parede celular e as pectinas da lamela (Rico *et al.*, 2007). De acordo com Oms-Oliu *et al.*, (2010), a aplicação de  $\text{CaCl}_2$  a melões tornou o fruto mais firme, verificando que quanto mais cálcio adicionado maior a firmeza do fruto. Esta capacidade em manter a estrutura dos frutos minimamente processados pode ainda ser útil na retardação do escurecimento enzimático (Toivonen & Brummell, 2008), pelo fato de auxiliar na manutenção da integridade celular pode ainda atrasar reações de escurecimento que se devem ao contato entre substratos e enzimas após o processamento mínimo. Nos últimos anos, o lactato de cálcio tem sido utilizado como fonte alternativa de cálcio, uma vez que não deixa nenhum sabor residual no produto, previne o escurecimento enzimático e atua como um regulador de acidez (Oms-Oliu *et al.*, 2010; Rico *et al.*, 2007).

#### **1.1.2.4 – Embalamento com atmosfera modificada**

O embalamento com atmosfera modificada (MAP) é uma técnica utilizada para prolongar a vida útil de alimentos minimamente processados. Nesta técnica, a composição da mistura gasosa que circunda o alimento na embalagem é alterado, criando uma atmosfera com percentagens fixas de cada gás. Deste modo é possibilitado o controlo da taxa de respiração que, aliado à manutenção da humidade, permite prolongar o estado fresco do alimento (Kendra, 2010; Rojas-Graü *et al.* 2009).



O MAP é utilizado em vários tipos de produtos, onde a mistura de gases no interior da embalagem depende do tipo de produto, dos materiais da embalagem e da temperatura de armazenamento (Kendra, 2010). Nos alimentos que mantêm a sua atividade metabólica após processamento, como os frutos e vegetais, é importante adequar a interação entre estes e a embalagem: se a permeabilidade do filme (ao O<sub>2</sub> e ao CO<sub>2</sub>) estiver adaptada à taxa de respiração de um determinado produto, será estabelecida uma atmosfera modificada de equilíbrio na embalagem, o que aumentará o tempo de prateleira do produto (Kendra, 2010). Além do controlo da taxa de respiração, as atmosferas modificadas auxiliam também na inibição da proliferação de microrganismos (Rojas-Graü *et al.*, 2009). Por exemplo, o crescimento de microrganismos aeróbicos pode ser substancialmente reduzido através de baixos níveis de O<sub>2</sub> (Rojas-Graü *et al.*, 2009). Os principais gases envolvidos neste tipo de técnica são o O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e o N<sub>2</sub> (Kendra, 2010) os quais, como referido anteriormente, estão em percentagens diferentes consoante o produto. A embalagem em si é também objeto de manipulação, nomeadamente os filmes que a constituem. Muitos dos filmes utilizados em MAP não oferecem por si só as propriedades físicas desejáveis (permeabilidade, resistência química, capacidade de selagem a quente, durabilidade, por exemplo), pelo que muitos destes filmes são combinados entre si (Kendra, 2010). Materiais como o polietileno, cloreto de polivinilo (PVC), politereftalato de etileno (PET), poliestireno e a celulose são dos principais constituintes das embalagens utilizadas no embalamento com atmosfera modificada (Kendra, 2010). A utilização de MAP tem sido amplamente testada em frutos minimamente processados. Através da aplicação desta técnica Cefola *et al.*, (2014) conseguiu manter as características de figo da Índia minimamente processado ao longo de 9 dias a 4°C. Também, Montero-Calderón *et al.* (2008) conseguiu manter os parâmetros de qualidade em ananás minimamente processado através da conservação em atmosfera modificada, até 14 dias. A combinação da aplicação de uma atmosfera modificada com outras técnicas para conservação da qualidade e segurança alimentar também tem sido largamente utilizada, nomeadamente combinação com tratamentos de imersão ou aplicação de revestimentos. Por exemplo, Ma *et al.* (2010) verificou que a combinação de atmosfera modificada com a aplicação de um revestimento de alginato permite controlar eficazmente o escurecimento enzimático em batata.

#### **1.1.2.5 – Revestimentos comestíveis**

Um revestimento comestível é definido como um material (proteína, polissacárido ou lípido) que é utilizado como uma camada na superfície dos alimentos (Azarakhsh *et al.*, 2012). A aplicação de revestimentos comestíveis em alimentos minimamente processados tem como principal objetivo aumentar o tempo de prateleira destes produtos, através da manutenção das suas propriedades mecânicas e do controlo da transferência de massa entre o alimento e o ambiente, formando como que uma atmosfera única naquele produto (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005; Ramos *et al.*, 2012; Valencia-Chamorro *et al.*, 2011)

Quando aplicados, estes revestimentos podem ter várias vantagens, tais como atrasar o amadurecimento em frutos climatéricos, diminuir a perda de água, atrasar as alterações de cor, melhorar a aparência do alimento e ainda diminuir a perda de aroma (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005). Além de todas estas vantagens, os revestimentos comestíveis possuem ainda uma propriedade muito importante: a capacidade de, quando incorporados na sua constituição, serem transportadores de compostos com diversos tipos de efeitos, como agentes anti-escurecimento, corantes, aromas e compostos anti-microbianos, que podem aumentar o tempo de prateleira dos produtos e reduzir o risco de desenvolvimento microbiano (Olivas & Barbosa-Cánovas, 2005; Rojas-Graü *et al.*, 2009). Quando se tenta melhorar estabilidade microbiana de produtos minimamente processados, a imersão em soluções que contêm agentes anti-microbianos, é a maneira mais prática de o fazer (Rojas-Graü *et al.*, 2009). No entanto, aplicar estes agentes diretamente na superfície do alimento pode ter benefícios limitados, uma vez que as substâncias são difundidas da superfície para o interior do fruto, o que limita a eficácia do agente antimicrobiano (Oms-Oliu *et al.*, 2010; Rojas-Graü *et al.*, 2009). Neste sentido, a incorporação destas substâncias em revestimentos comestíveis pode aumentar a sua eficácia, uma vez que a sua concentração se mantém constante na superfície dos alimentos durante maior tempo (Rojas-Graü *et al.*, 2009). Por exemplo, a combinação de 2,5% (w/v) de ácido málico com um revestimento de alginato permitiu inibir o crescimento microbiano em melão minimamente processado após 30 dias de armazenamento (Raybaudi-Massilia *et al.*, 2008).

O processamento mínimo acarreta também problemas no desenvolvimento de colorações indesejadas nos alimentos. De modo semelhante aos agentes anti-microbianos, a combinação de agentes anti-escurecimento com revestimentos comestíveis resulta numa melhoria significativa do seu efeito (Oms-Oliu *et al.*, 2010; Rojas-Graü *et al.*, 2009). Um dos antioxidantes mais utilizados, o ácido ascórbico, quando incorporado numa concentração de 1% (w/v) num revestimento compósito de carragenano e concentrado proteico, conduziu à manutenção da cor original de maçãs, durante o armazenamento, sem que ocorressem alterações sensoriais (Lee *et al.*, 2003). A incorporação de sais de cálcio em revestimentos comestíveis resulta ainda na melhoria das propriedades físicas do alimento processado, aumentando o tempo em que este conserva a sua textura (Rojas-Graü *et al.*, 2009). Por exemplo, a aplicação de um revestimento alginato contendo 2% (w/v) de  $\text{CaCl}_2$  em maçãs permitiu manter a sua firmeza durante 2 semanas (Rojas-Graü *et al.*, 2008). Desta forma, a utilização de revestimentos comestíveis e a sua combinação com agentes anti-microbianos e antioxidantes parece ser um sistema promissor, reconhecido pela sua capacidade em melhorar a qualidade dos produtos minimamente processados, aumentar da sua vida útil, segurança e funcionalidade (Ramos *et al.*, 2012).

## 1.2 – Figo da Índia

O figo da Índia (*Opuntia ficus indica*) é um fruto que pertence ao género *Opuntia*, da família das *Cactaceae*, originário do México. A planta que dá origem a este fruto, a figueira-da-Índia, encontra-se atualmente distribuída por todo o planeta, desde a América, África, Austrália e a região do Mediterrâneo (Moßhammer *et al.*, 2006; Piga, 2004). Este fruto foi largamente ignorado pela comunidade científica até ao início de 1980. Desde então, o súbito interesse nesta planta pode ser explicado, em parte devido à multifuncionalidade do figo da Índia, uma vez que tem um alto conteúdo em compostos de interesse e nutrientes, que lhe conferem um importante valor nutricional e tecnológico (Piga, 2004).

O principal produtor de figo da Índia a nível mundial é o México, com uma produção de cerca de 300 mil toneladas em aproximadamente 70 mil hectares. Segue-se a Itália com cerca de 3000 hectares de cultura, com uma produção de 70 mil toneladas. Na África do Sul, 1,500 hectares produzem cerca de 15 mil toneladas, enquanto que no Chile a área especializada é de 1,100 hectares e com uma produção de mais de 8000 toneladas. Áreas menores podem ser encontradas na Argentina (800 hectares) e nos E.U.A. (200 hectares), com uma produção de 7500 e 4000 toneladas, respetivamente. Podem ainda encontrar-se figos da Índia no Brasil, Peru, Colômbia, Jordânia, Egito, Tunísia, Argélia, Marrocos, Turquia, Espanha e Grécia (Basile, 2001).

Segundo nota de imprensa emitida pela Associação de Produtores Portugueses de Figo da Índia (APROFIP), estima-se que existam entre 120 a 150 hectares de pomar de figueira-da-Índia em Portugal que, quando atingirem a fase de maturação, renderão entre 15 a 20 toneladas de figo por hectare.

As vantagens ecológicas desta planta podem ser atribuídas ao Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM) que permite a fixação de CO<sub>2</sub> durante a noite, minimizando as perdas de água durante a fotossíntese (Guevara-Figueroa *et al.*, 2010). Deste modo, devido a problemas agrícolas ligados ao aumento de zonas áridas e ao declínio de reservas de água, a figueira-da-Índia está a surgir como uma cultura de grande importância (Guevara-Figueroa *et al.*, 2010). Os catos são plantas de porte arbustivo que atingem cerca dos 3,5-5 m de altura. Os ramos são achatados, de coloração verde-acinzentada, com um comprimento (30-60 cm) maior do que a largura (6-15 cm). Possuem um extenso sistema radicular, relacionado com as condições de captação da água, resultante de chuvas escassas, pelo que se compreende a adaptação a meios áridos (Feugang *et al.*, 2006).

*Opuntia ficus-indica*, também conhecido como tuna, figo da Índia ou fico d'Índia, é um fruto doce, carnudo e suculento, provido de um pericarpo duro, no qual se encontram pequenos espinhos de celulose. O seu comprimento varia entre 4,8 a 10 cm, o diâmetro de 4 a 8 cm e o seu peso entre 100 e 200 g (Moßhammer *et al.*, 2006). Este fruto pode apresentar

uma ampla gama de cores, tais como o amarelo, verde, laranja, vermelho e roxo, com base na região em que se encontra e no conteúdo em betalaínas (Kgatla *et al.*, 2010; Moßhammer *et al.*, 2006). O tempo de vida útil deste fruto é curto, entre 3 a 4 semanas, o que limita bastante o seu armazenamento e, conseqüentemente, a sua comercialização (Semedo, 2012). A temperatura de conservação também é determinante na qualidade do fruto, uma vez que abaixo dos 10°C este fruto sofre lesões provocadas pelo frio (Piga *et al.*, 2000), apresentando manchas escuras na casca.

Os figos da Índia são constituídos pela polpa (43 – 57%), sementes (2 – 10%) e pela casca (5,3 – 7,1 %). A sua importância nutricional deve-se sobretudo ao seu conteúdo em ácido ascórbico, fibras e aminoácidos. Podem ser encontradas quantidades significativas de ácido ascórbico (vitamina C) na polpa do figo (180 – 300 mg/kg), valores até superiores aos encontrados noutros frutos comuns, como banana, pêra e maçã. Estão também presentes em maior quantidade, relativamente a outros frutos, minerais como o cálcio (até 59 mg/100g) e o magnésio (até 98,4 mg/100g) (Feugang *et al.*, 2006). O figo da Índia é também caracterizado pelo elevado conteúdo em sólidos solúveis totais e à sua baixa acidez (Del Nobile *et al.*, 2009). Na **Tabela 1.1** são apresentadas, em resumo, as características químicas e nutricionais principais da polpa de figo da Índia.

A procura destes frutos tem aumentado bastante devido às suas propriedades biológicas (Feugang *et al.*, 2006). O já conhecido conteúdo em ácido ascórbico e também a presença de betalaínas, torna este fruto um alimento com elevado potencial antioxidante (Butera *et al.*, 2002). Além do potencial antioxidante, já foi demonstrado o potencial de extratos da polpa de figo da Índia na redução da proliferação de linhas celulares cancerígenas (Feugang *et al.*, 2006), bem como na prevenção de doenças degenerativas (Feugang *et al.*, 2006; Gil *et al.*, 2006). O consumo da polpa de figo da Índia pode apresentar ainda outras atividades benéficas à saúde humana, como a atividade diurética e anti-úrica, neuro-protetora e antiulcerogénica e anti-inflamatória (Feugang *et al.*, 2006; Martins, 2011).

**Tabela 1.1** - Principais características químicas e nutricionais da polpa de figo da Índia (adaptado de Feugang *et al.*, 2006; Piga, 2004)

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| pH                          | 5,3 - 7,1    |
| Acidez (% de ácido cítrico) | 0,05 - 0,018 |
| °Brix                       | 12,0 - 17,0  |
| Humidade (%)                | 84 - 90      |
| Proteína (%)                | 0,2 - 1,6    |
| Gordura (%)                 | 0,09 - 0,7   |
| Fibra (%)                   | 0,02 - 3,1   |
| Cinza (%)                   | 0,3 - 1      |
| Açúcares totais (%)         | 10,0 - 17,0  |

| <b>Minerais</b>                   | <b>mg/100g peso fresco</b> |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Cálcio (Ca)                       | 12,8 - 59                  |
| Magnésio (Mg)                     | 16,1 - 98,4                |
| Ferro (Fe)                        | 0,4 - 1,5                  |
| Sódio (Na)                        | 0,6 - 1,1                  |
| Potássio (K)                      | 90 - 220                   |
| Fósforo (P como PO <sub>4</sub> ) | 15 - 32,8                  |

| <b>Compostos Nutritivos</b> | <b>por 100g peso fresco</b> |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Ácido ascórbico             | 180 - 300 mg                |
| Carotenóides                | 0,29 - 2,37 g               |
| Vitamina E                  | 111 - 115 µg                |
| Vitamina K1                 | 53 µg                       |
| Kaempferol                  | 0,11 - 0,38 g               |
| Quercetin                   | 0,98 - 9 g                  |
| Isorhamnetin                | 0,19 - 2,41 g               |

| <b>Aminoácidos</b> | <b>Conteúdo máximo (mg/L)</b> |
|--------------------|-------------------------------|
| Prolina            | 1768,7                        |
| Glutamina          | 574,6                         |
| Taurina            | 572,1                         |
| Serina             | 217,5                         |
| Alanina            | 96,6                          |
| Ácido glutâmico    | 83                            |
| Metionina          | 76,9                          |
| Lisina             | 53,3                          |

### 1.2.1 – Processamento mínimo de figo da índia

Um dos principais problemas associados ao baixo consumo de figo da índia reside provavelmente na dificuldade em descascar o fruto. Além de possuir uma casca espessa, nela são encontrados inúmeros espinhos de celulose (Cefola *et al.*, 2014), que tornam o processo de descasque um pouco incómodo para quem não saiba como o fazer. Aliados ao crescente interesse no consumo deste fruto, surgiram trabalhos sobre o processamento mínimo de figo da índia, numa tentativa de minimizar os constrangimentos para o consumidor em aceder à polpa do fruto. O próprio figo da índia apresenta um desafio ao processamento mínimo, devido às suas características intrínsecas. É muito suscetível à perda de água, escurecimento e ao amadurecimento (Del Nobile *et al.*, 2009) e, devido aos seus elevados valores de pH e à elevada quantidade de sólidos solúveis, é muito suscetível ao desenvolvimento microbiano (Corbo *et al.*, 2004; Del Nobile *et al.*, 2009).

Os estudos em figo da índia minimamente processado são ainda relativamente escassos. No entanto, diversas abordagens para a sua conservação têm sido testadas, desde o tipo de corte (inteiro, metades ou fatias), o tipo de embalagem e tipo de filme utilizado no embalamento, o tempo e temperatura de conservação, a composição da atmosfera no interior da embalagem e a aplicação de revestimentos comestíveis. De modo a elucidar o estado de arte referente ao figo da índia minimamente processado, são apresentados na **Tabela 1.2** os principais trabalhos em figo da índia minimamente processado.

**Tabela 1.2 - Estudos e principais resultados obtidos em trabalhos com figo da Índia minimamente processado**

| Fruto                                       | Embalagem  | Tratamentos  | Resultados  | Referência                 |
|---|--|--|---|----------------------------|
| <i>Gialla</i><br>Inteiro<br>±300g/embalagem | Politereftalato de etileno (PET)<br>— Filme de poliamida/polietileno | 1. Controlo - amostra colocada na embalagem, sem filme<br>2. Atmosfera passiva<br>3. Atmosfera activa (10% O <sub>2</sub> , 10%CO <sub>2</sub> )<br>2 temperaturas: 4 e 8°C durante 9 dias | — Atmosfera activa e passiva com bons resultados a 4°C<br>— Controlo e conservação a 8°C leva a desenvolvimento microbiano  | Cefola et al., 2014        |
| "Red"<br>Inteiro                            | Politereftalato de etileno (PET)                                     | 1. Controlo - amostra colocada na embalagem<br>2. Revestimento de quitosano com 1 ou 2,5% ác. acético<br>4°C durante 16 dias   | — Conteúdo em fenóis não foi afectado pelo revestimento;<br>— Revestimento com 2,5% ácido acético não manteve características sensoriais  | Ochoa-Velasco et al., 2014 |
| <i>Gialla</i>                               | Politereftalato de etileno (PET)                                     | 1. Fruto inteiro<br>2. Metades<br>3. Rodelas<br>3°C durante 16 dias  | — Frutos inteiros preferidos na intenção de compra e apresentaram melhores resultados quanto ao teor em ácido ascórbico, SST e AT   | Marques et al., 2011       |
| <i>Gialla</i><br>Metades<br>±50g/embalagem  | Polipropileno (PP)<br>— Filme monocamada<br>— Filme multicamada      | 1. Revestimento de alginato<br>2. Revestimento de agar<br>3. Revestimento de fish protein gel<br>5°C durante 13 dias   | — Filmes não revelaram efeitos;<br>— Revestimento de alginato prolonga o tempo de vida útil até 13 dias;<br>— Tempo de vida útil reduzido com os restantes revestimentos  | Del Nobile et al., 2009    |
| <i>Cristalina</i><br>Inteiro                | —  | 1. 2°C;<br>2. 6°C;<br>3. 10°C<br>12 dias de conservação  | — Melhor preservação dos parâmetros físico-químicos a 2°C;<br>— Pequena diminuição do "H com 2°C, com 6 e 10°C a diminuição foi maior;<br>— Aumento de fenóis totais com a temperatura;<br>— A temperatura de 2°C foi boa para preservar o figo da Índia minimamente processado durante 12 dias   | Morga et al., 2006         |
| <i>Cristalina</i><br>Inteiro                | —  | 1. Atmosfera normal<br>2. 3% O <sub>2</sub><br>3. Atmosfera normal + 3% O <sub>2</sub><br>4. Atmosfera normal + 10% CO <sub>2</sub><br>5. 10% CO <sub>2</sub><br>2°C                       | — 10% CO <sub>2</sub> permitiu melhor qualidade visual e reduziu a tendência para o escurecimento; Nestas condições, a qualidade do figo da Índia foi preservada até 20 dias  | Morga et al., 2006         |
| <i>Gialla</i><br>Fatias                     | Plástico (nylon/polietileno)   | 1. Atmosfera normal<br>2. Atmosfera modificada (65% N <sub>2</sub> , 30% CO <sub>2</sub> , 5% O <sub>2</sub> )<br>4 temperaturas: 4, 8, 12 e 20°C durante 14 dias                          | — Melhor qualidade a 4°C (maior desenvolvimento microbiano a temperaturas mais elevadas);<br>— Atmosfera modificada melhor a qualidade microbiológica do fruto  | Corbo et al., 2004         |
| <i>Gialla</i><br>Inteiro<br>±150g/embalagem | Plástico<br>— Filme de polyolefin                                    | 1. 4°C durante 9 dias (condições comerciais)   | — Teor em vitamina C, fenóis totais e atividade antioxidante não se alterou ao longo do período de conservação;<br>— O processamento mínimo não diminui as principais propriedades nutricionais e biológicas do figo  | Piga et al., 2003          |
| <i>Gialla</i><br>±300g/embalagem            | Poliestireno<br>— Filme de polyolefin                                | 1. 4°C (condições comerciais)<br>2. 15°C (stress de temperatura)<br>11 dias de conservação   | — Redução de teor em vitamina C com o aumento da temperatura, ao longo do tempo;<br>— Pequenas alterações nos parâmetros físico-químicos e sensoriais a 4°C até 8 dias, a 15°C ocorrem grandes alterações - aumento de acidez, acumulação de etanol, desenvolvimento de off-flavour, perda de frescura e firmeza;<br>— Qualidade do figo da Índia descascado pode ser mantida a 4°C durante 8 dias, enquanto que a 15°C o tempo de vida útil fica limitado a 4 dias | Piga et al., 2000          |

Da análise dos trabalhos publicados sobre o processamento de figo da Índia, foi consistente o resultado quanto à temperatura de conservação, obtendo-se melhores resultados com temperaturas de conservação mais baixas, 4° C. Esta temperatura permitiu que os frutos mantivessem as suas propriedades físico-químicas, mas também controlar o desenvolvimento microbiológico, aumentando assim o tempo de prateleira (Cefola *et al.*, 2014; Corbo *et al.*, 2004; Del Nobile *et al.*, 2009; Marques *et al.*, 2011; Piga *et al.*, 2003; Piga *et al.*, 2000).

A conservação em atmosferas modificadas e a aplicação de revestimentos ao fruto, foram outras abordagens que também revelaram resultados promissores na manutenção das características do fruto e no aumento do seu tempo de prateleira (Cefola *et al.*, 2014; Corbo *et al.*, 2004; Del Nobile *et al.*, 2009; Ochoa-Velasco & Guerrero-Beltrán, 2014).

### **1.3 – Objetivos**

O trabalho apresentado na presente tese teve como principal objetivo avaliar o potencial do figo da Índia para processamento mínimo e o desenvolvimento de procedimentos que permitam garantir a qualidade e segurança alimentar deste produto ao longo da cadeia de abastecimento. Especificamente, pretendeu-se avaliar:

- i) as alterações de qualidade de fatias de figo da Índia mantidas a 4°C durante o período de conservação;
- ii) a eficácia da aplicação de ácido ascórbico, ácido cítrico e de cloreto de cálcio por imersão ou em combinação com um revestimento de alginato de sódio na manutenção da qualidade de fatias de figo da Índia mantidas a 4°C durante o período de conservação.

Durante o período de conservação foram analisadas nas fatias de figo da Índia minimamente processado os parâmetros físico-químicos (pH, sólidos solúveis totais, cor e textura), a estabilidade microbiológica, bem como possíveis alterações nutricionais (fenóis totais, ácido ascórbico, carotenóides, betalaínas, antocianinas e a atividade antioxidante).



## 2. Material e métodos

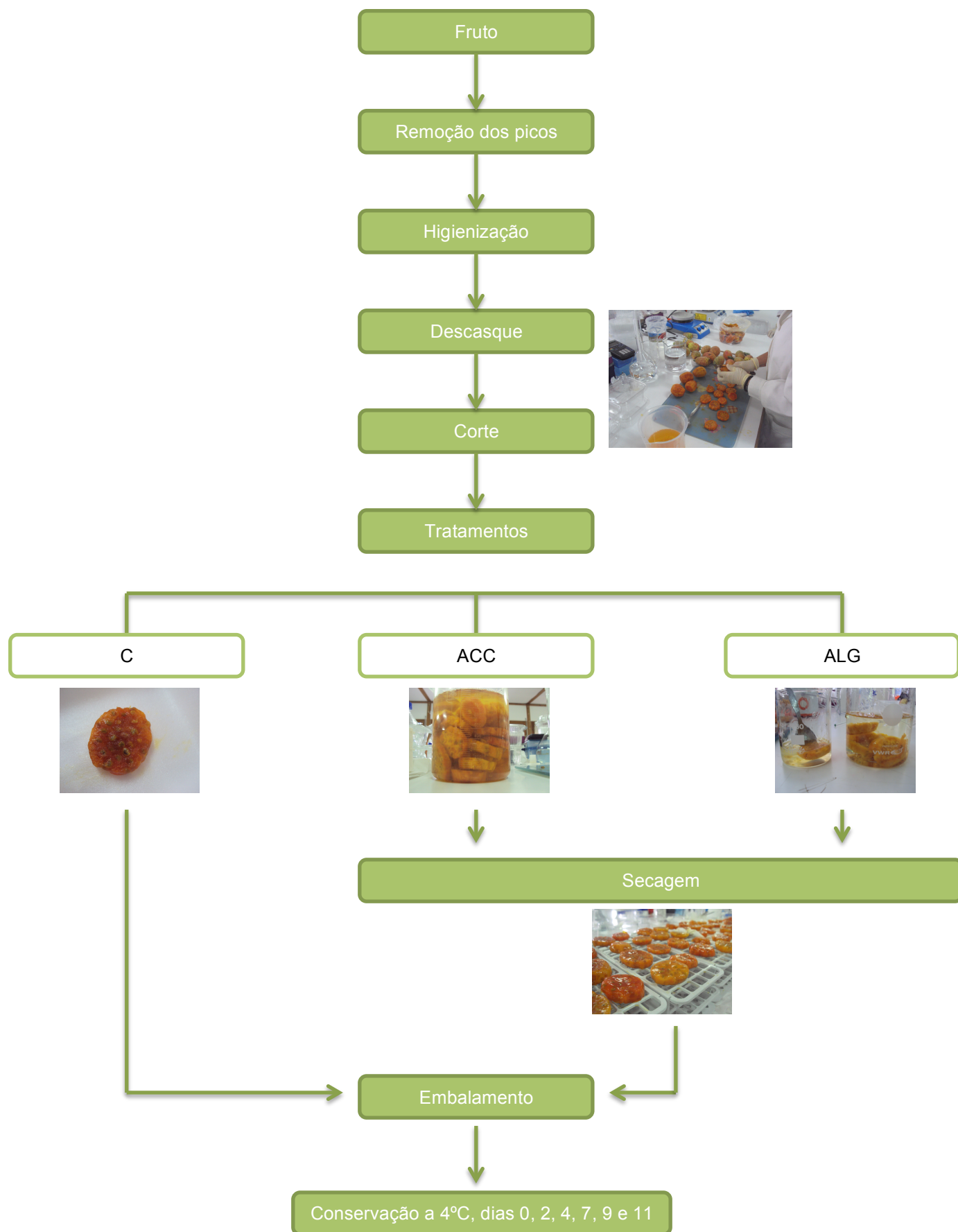
### 2.1 – Material vegetal

Figos da Índia (*Opuntia ficus-indica* L.) de cor laranja foram recolhidos de plantas espontâneas, existentes numa propriedade privada situada no Vimieiro (Évora, Portugal), em Setembro de 2013. Após transporte até ao laboratório, os frutos foram acondicionados a 4°C, até processamento.

### 2.2 – Processamento mínimo

Após remoção manual dos picos existentes na casca do fruto, por raspagem dos mesmos com faca e debaixo de água corrente, os frutos foram higienizados por imersão em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm), durante 2 minutos. Após a higienização, os frutos foram lavados com água corrente e secos à temperatura ambiente. Para a remoção da casca, cortaram-se os topos do fruto e fez-se um corte longitudinal com uma faca, sendo a casca removida manualmente. Os frutos descascados foram cortados transversalmente, obtendo-se fatias com aproximadamente 1 cm de espessura. As fatias foram divididas em 3 lotes, sendo aplicado a cada um dos lotes um dos seguintes tratamentos: *i*) sem qualquer manipulação (Controlo, C), *ii*) imersão durante 1 minuto numa solução contendo 1% (m/v) de ácido ascórbico, 1% (m/v) de ácido cítrico e 1% (m/v) de cloreto de cálcio (ACC) e *iii*) imersão em solução com 1% (m/v) de alginato de sódio e 1,5% (m/v) de glicerol, seguida de imersão imediata numa solução contendo 1% (m/v) de ácido ascórbico, 1% (m/v) de ácido cítrico e 1% (m/v) de cloreto de cálcio durante 1 minuto (ALG). Para preparar a solução de revestimento, o alginato de sódio foi dissolvido em água destilada a 80°C com agitação, após dissolução completa do alginato, foi adicionado o glicerol. O glicerol (1,5%) foi adicionado como agente plasticizante. Após secagem a temperatura ambiente, as fatias foram distribuídas aleatoriamente por caixas de polipropileno rígidas (8 rodela/caixa) e mantidas a 4°C durante 0, 2, 4, 7, 9 e 11 dias. Para cada um dos tratamentos e dia de amostragem foram preparadas 2 embalagens.

Na **Figura 2.1** apresenta-se esquematicamente as principais operações realizadas durante o processamento mínimo do figo da Índia.



**Figura 2.1** - Esquema do processamento do figo da Índia. C: fatias controle; ACC: fatias imersas em 1% ácido cítrico + 1% ácido ascórbico + 1%  $\text{CaCl}_2$ ; ALG: fatias imersas em solução com alginato de sódio (1%) e glicerol (1,5%), seguida de imersão em solução com 1% de ácido ascórbico, 1% de ácido cítrico e 1% de cloreto de cálcio

### 2.3– Sólidos Solúveis Totais, Acidez Titulável e pH

O teor em sólidos solúveis totais, acidez titulável e pH foi determinado em sumo de figo da Índia. O sumo foi preparado num processador doméstico de sumos (*Ariete Centrika*), utilizando porções de várias fatias de figo da Índia de cada uma das embalagens. O teor em sólidos solúveis totais (SST) foi determinado com um refractómetro digital (RFM 330, Bellingham Stanley, CH) a 20°C. Para calibração do aparelho utilizou-se uma solução de sacarose, com um valor de 50 °Brix. Os resultados foram expressos em °Brix. A acidez titulável (AT) foi determinada por titulação de 1 mL de sumo diluído em 25 mL de água destilada com NaOH (0,1M) até pH 8,1. Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico. O pH dos sumos foi medido num potenciómetro (Consort® C861), a temperatura ambiente. Todas as determinações foram feitas em duplicado.

### 2.4 – Cor

A cor da superfície das fatias de figo da Índia foi determinada com um colorímetro (Minolta CR-300, Minolta, Osaka, Japan), usando o sistema CIE  $L^*a^*b^*$ , sendo o  $L^*$  a luminosidade e que varia entre o 0 (preto) e 100 (branco), o  $a^*$  os tons verdes/vermelhos e o  $b^*$  os tons amarelos/azuis. Em cada uma das embalagens procedeu-se à determinação da cor em 5 fatias. Determinou-se o ângulo Hue, através da seguinte fórmula:

$$\text{Hue} = \arctan(a^*/b^*) \times (180/\pi)$$

### 2.5 – Firmeza

Para determinação da firmeza das fatias de figo da Índia, utilizou-se um texturómetro (TA-HDi Texture Analyser, Stable Micro Systems), com uma célula de carga de 25kg. Em 5 fatias escolhidas aleatoriamente por cada embalagem foi determinada a força máxima necessária para que uma sonda cilíndrica de 2 mm penetre na fatia a uma profundidade de 5 mm, com uma velocidade de 1 mm/s. As determinações foram realizadas a 20°C.

### 2.6 – Análise microbiológica

Para as análises microbiológicas, as fatias foram cortadas em pequenos pedaços num total de 10 g/embalagem. A amostra foi diluída em 90 mL de meio diluente (Buffered Peptone Water, Liofilchem, Italy) e homogeneizada num Stomacher (Stomacher® 400 *Circulator*, Seward). Preparam-se as diluições adequadas utilizando-se o mesmo meio diluente. Para análise de mesófilos totais e psicrófilos, inoculou-se 1 mL de cada diluição em meio *Plate Count Agar* (PCA), por incorporação. As placas foram incubadas a 30°C durante 72 horas, no caso nos mesófilos e a 4°C durante 7 dias, no caso dos psicrófilos. Para contagem de bolores/leveduras, inoculou-se 1 mL das várias diluições em meio *Yeast*

*Glucose Chloramphenicol Agar* (YGCA), por incorporação. As placas foram incubadas a 25°C durante 5 dias. Todas as inoculações foram feitas em duplicado. O número de microrganismos foi expresso em log unidades formadoras de colónias por grama de amostra (ufc/g).

## **2.7 – Extrato metanólico**

Para a preparação do extrato utilizou-se o procedimento descrito por Robles-Sánchez *et al.* (2009), com algumas alterações. Brevemente, a 20 g de amostra fresca foi adicionado 15 mL de MeOH (80%). A mistura foi homogeneizada com um Ultra-Turrax (IKA® T25 Digital) durante 2 minutos a 12000 rpm e colocou-se no ultrassons durante 15 minutos a temperatura ambiente (Bransonic Ultrasonic Cleaner 3510E-DTH). Seguidamente centrifugou-se a 12500 rpm durante 15 minutos a 5°C e o sobrenadante foi recolhido. Ao pellet foi adicionado 20 mL de MeOH (80%), e depois a mistura foi homogeneizada no vortex e colocado no ultrassons durante 15 minutos, a temperatura ambiente. Após centrifugação a 13500 rpm durante 15 minutos e a 5°C o sobrenadante foi recolhido e adicionado ao sobrenadante anteriormente obtido. Repetiu-se o procedimento de lavagem do pellet mais duas vezes, até remoção da coloração. Após filtração do sobrenadante recolhido em sistema de vácuo, procedeu-se à evaporação do metanol no rotavapor (40°C, 90 rpm) e ressuspendeu-se o pellet em 20mL de água destilada. O extrato foi congelado até análise e utilizado para quantificação de fenóis totais, antocianidinas, ácido ascórbico e para determinação da atividade antioxidante.

## **2.8 – Fenóis totais**

O teor em fenóis totais foi quantificado pelo método de Folin-Ciocalteu, descrito por Falleh *et al.* (2008), com algumas modificações. Brevemente, adicionou-se 0,1 mL de extrato metanólico a 1,5 mL de reagente de Folin-Ciocalteu 10% (v/v), seguido de agitação no vortex. Após incubação, durante 5 minutos à temperatura ambiente, adicionou-se 1,5 mL de carbonato de sódio (60 g/L) e incubou-se durante 60 minutos no escuro, à temperatura ambiente. A absorvância foi lida a 725 nm em espectrofotómetro (Helios  $\alpha$ , Thermo Scientific), contra um branco onde a amostra é substituída pelo mesmo volume de água destilada. Determinou-se a concentração em fenóis por interpolação da curva de calibração de ácido gálico (0,04-0,25 mg/mL). Os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100g amostra. Como o ácido ascórbico contribui para o ensaio de Folin-Ciocalteu, foi necessário proceder à correção dos valores de fenóis totais considerando este contributo. Para a correção, procedeu-se de acordo com Asami *et al.*, (2003). A partir de concentrações conhecidas de ácido ascórbico, efetua-se a medição da sua absorvância no ensaio de Folin-Ciocalteu. Estes valores de absorvância são aplicados numa curva de

calibração de ácido gálico. Às concentrações obtidas é calculado o rácio ácido gálico:ácido ascórbico, que resulta na obtenção do factor de correção, sendo 0.66 neste ensaio. Este factor é aplicado às concentrações de ácido ascórbico obtidas por HPLC, sendo depois retirado aos valores de fenóis totais obtidos.

## 2.9 – Antocianidinas totais

A quantificação de antocianidinas foi feita pelo método do pH diferencial, de acordo com os procedimentos descritos por Giusti *et al.* (2011) e Nicoué *et al.* (2007.) Resumidamente procedeu-se à diluição das amostras em tampão de cloreto de potássio 0,025M, pH=1 e tampão de acetato de sódio 0,4M, pH=4,5 e agitou-se no vortex. Após incubação no escuro durante 15 minutos, à temperatura ambiente, a absorvância de ambas as misturas foi lida a dois comprimentos de onda, 515 e 700 nm, utilizando-se um espectrofotómetro (Helios  $\alpha$ , Thermo Scientific). Os resultados foram expressos em mg de cyanidine 3-glucoside por 100g amostra (cy3g/100g). Para a determinação do teor em antocianidinas totais, utilizaram-se as seguintes equações:

$$A = [A_{\text{máx.}} - A_{700}]pH1$$

$$[\text{mg/L}] = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{C \times L}$$

Onde A= absorvância;  $A_{\text{máx.}}$  = absorvância máxima na zona do visível (515nm para cy3g); MW = peso molecular da antocianidina maioritária (449,2 g/mol para cy3g); DF = factor de diluição; C = concentração da antocianidina maioritária (26900 para cy3g); L = comprimento da célula (1cm).

## 2.10 – Ácido ascórbico

A análise quantitativa de ácido ascórbico foi feita por *Cromatografia Líquida de Alta Performance* (HPLC). O equipamento utilizado foi Merck Hitachi LaChrome com um módulo de interface L700. As amostras foram injetadas através de um auto sampler L7200, com posterior deteção realizada através de um detector de UV-VIS L-7420, com o comprimento de onda definido em 245 nm. A coluna utilizada foi uma Waters Spherisorb ODS2 (5  $\mu\text{m}$ , 4,6x250mm), a uma temperatura de 30°C. O volume de injeção utilizado foi de 20  $\mu\text{L}$ . A fase móvel utilizada foi  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (0,02M, pH = 2,7), com um caudal de 1 ml/min. A curva de calibração fez-se a partir de ácido ascórbico (L-Ascorbic Acid, Sigma Aldrich®).

## 2.11 – Carotenóides

O conteúdo em carotenóides foi determinado segundo o método de *Yahia et al.* (2011). A 2 g de figo da índia adicionou-se 15 mL de hexano:acetona:tolueno:etanol na proporção 10:7:7:6, respetivamente. Homogeneizou-se a mistura no Ultra-turrax durante 1 minuto, e adicionou-se 1 mL da solução metanólica KOH 40%. A mistura foi agitada 56°C durante 20 minutos e arrefecida com água corrente. Após arrefecimento, foi adicionado 10 mL de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10%, seguido de agitação. A mistura foi incubada no escuro até separação de fases (aproximadamente 10 minutos). A absorvância foi lida a 450nm num espectrofotómetro (Helios α, Thermo Scientific). A curva de calibração foi preparada com β-Caroteno (Fluka<sup>®</sup> Analytical) numa gama de concentrações de 1-5µg/mL, em hexano, sendo que o hexano funcionou como branco.

## 2.12 – Betalaínas

A determinação do conteúdo em betaxantinas nas fatias de figo da índia foi efetuada a partir da leitura espectrofotométrica (Helios α, Thermo Scientific) dos extratos metanólicos anteriormente obtidos, a 476 nm, sendo que os valores de absorvância se encontravam entre  $0.9 \leq A \leq 1$ . Aos valores de absorvância obtidos aplicou-se a seguinte equação:  $[(A \times FD \times MW \times 1000 / \epsilon \times L)]$ , onde A é o valor de absorvância máximo corrigido com a absorvância lida a 600nm, FD é o fator de diluição, L o comprimento da célula (1 cm), MW o peso molecular da indicaxantina (308 g/mol) e  $\epsilon$  o coeficiente de extinção molar da indicaxantina (48000). Os resultados foram expressos em mg/100g de peso fresco.

## 2.13 – Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada por dois métodos: o método da captura do radical livre 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) e o método da captura do radical livre ABTS<sup>•+</sup>.

### 2.13.1 – Método do 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

A determinação da atividade antioxidante pelo método do DPPH realizou-se segundo o procedimento descrito por Karioti *et al.* (2004) com algumas alterações. A 30 µL de extrato diluído adicionou-se 1470 µL de MeOH e 1500 µL da solução metanólica de DPPH 0,1 mM. A mistura foi agitada no vortex e deixou-se repousar 30 minutos no escuro à temperatura ambiente. A absorvância foi lida a 517 nm num espectrofotómetro (Helios α, Thermo Scientific). Prepararam-se também brancos da amostra (30 µL amostra + 2970 µL solução de DPPH), controlos da reação (30 µL H<sub>2</sub>O + 1470 µL Metanol + 1500 µL solução de DPPH) e branco do controlo (30 µL H<sub>2</sub>O + 2970 µL Metanol).

Os resultados são expressos em mg de ácido ascórbico por 100g de peso fresco. Para determinar o conteúdo em ácido ascórbico, determinou-se a % de redução de cada amostra e aplicou-se na curva de calibração, construída de igual modo.

Curva de calibração: a partir uma solução *stock* de ácido ascórbico 0,4 mg/mL em Metanol prepararam-se padrões com diferentes concentrações (0,05-0,3 mg/mL). Para construir a curva de calibração, aplicou-se o método do DPPH aos padrões, sendo calculada a percentagem de redução de cada padrão, através da seguinte equação:

$$\% \text{ redução} = \frac{A_{\text{Controlo}} - A_{\text{padrão}}}{A_{\text{Controlo}}} \times 100$$

Em que  $A_{\text{Controlo}}$  corresponde à diferença entre o valor da absorvância do controlo e o valor da absorvância do branco do controlo e  $A_{\text{amostra}}$  corresponde à diferença entre o valor da absorvância do padrão e o valor da absorvância do branco.

### 2.13.2 – Método da captura do radical livre ABTS<sup>•+</sup>

Para determinar a atividade antioxidante segundo o método do radical livre ABTS<sup>•+</sup>, procedeu-se de acordo com o descrito por Luciano *et al.* (2011). A partir da solução de radical ABTS<sup>•+</sup>, preparou-se uma solução diária de radical ABTS<sup>•+</sup>, diluindo a solução inicial com etanol absoluto a 30°C, até obter uma absorvância de 0,750±0,020, a 734 nm. A 20 µL de extrato e adicionou-se 2000µL de solução diária de radical ABTS<sup>•+</sup> diluída. Agitou-se a mistura no vortex e incubou-se a 30°C durante 6 minutos, protegido da luz. Leu-se a absorvância a 734 nm num espectrofotómetro (Helios α, Thermo Scientific). Para a preparação do branco misturou-se 20 µL de água destilada com 2000µL de solução diária de radical ABTS<sup>•+</sup>, e leu-se a absorvância antes e depois dos 6 minutos de incubação. Calculou-se a percentagem de inibição (% Inib.) do radical ABTS<sup>•+</sup> de acordo com a seguinte equação:

$$\% \text{ Inib.} = [(A_{0-B1} - A_6)/A_{0-B1}] \times 100$$

Onde,  $A_{0-B1}$  corresponde à absorvância do branco (medida antes da incubação),  $A_6$  corresponde à absorvância medida após 6 minutos de incubação. A partir da percentagem de inibição dos padrões é construída uma curva de calibração (% Inib em função da concentração), através da qual se determina a concentração das amostras. Os resultados são expressos em mM Trolox por 100g peso fresco.

#### **2.14 – Análise estatística**

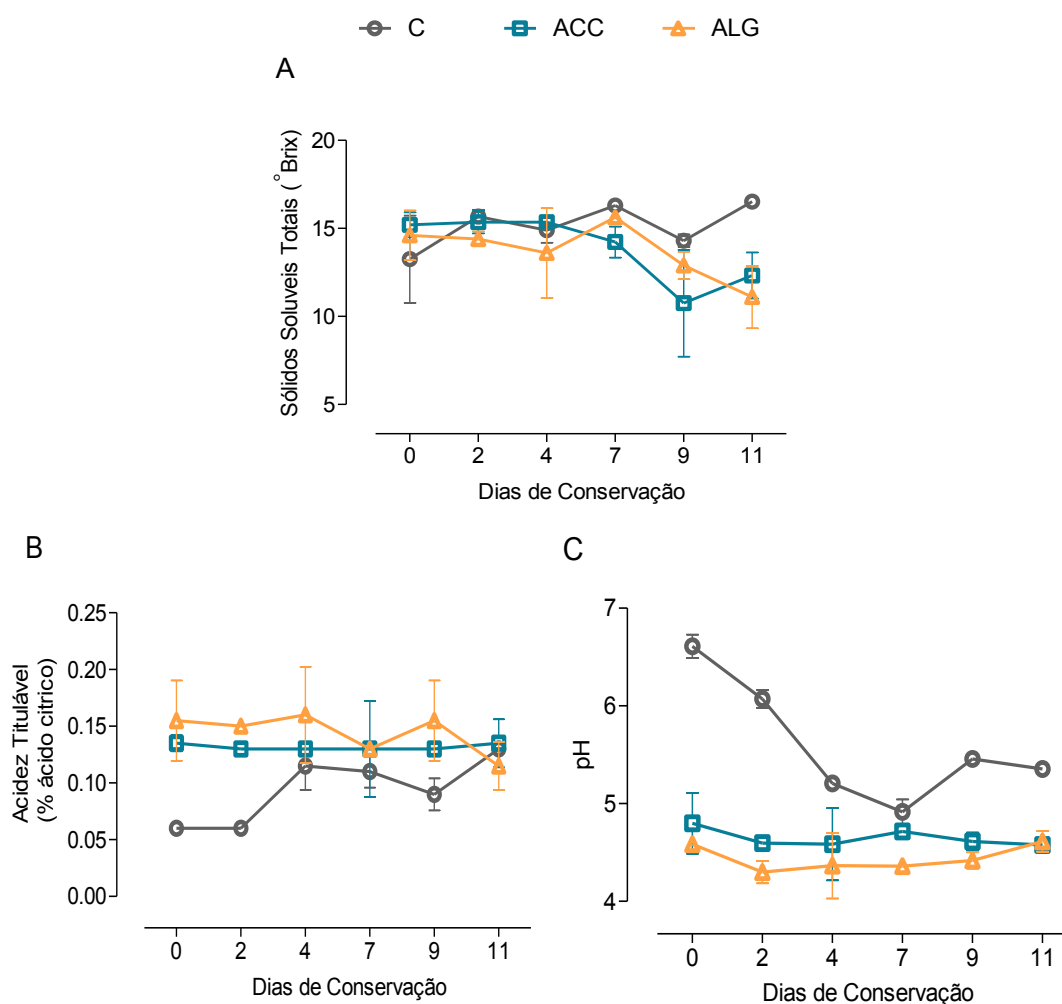
Os dados foram analisados através do procedimento MIXED do SAS (SAS Institute, Inc, Cary, NC, USA), considerando o tratamento aplicado nas fatias de figo da índia (C, ACC e ALG) como efeito principal e o dia de amostragem como medida repetida. O nível de significância estatística foi estabelecido em  $P < 0,05$ .



### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 – Sólidos solúveis totais, acidez titulável e pH

O teor em sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT) e pH das fatias de figo da Índia, sujeitas aos vários tratamentos e ao longo do período de conservação são apresentados na **Figura 3.1 A, B e C**, respectivamente.



**Figura 3.1** - Teor em sólidos solúveis totais (A), acidez titulável (B) e pH (C) das fatias de figo da Índia, ao longo de 11 dias de conservação a 4°C. C: controle; ACC: 1% ácido cítrico + 1% ácido ascórbico + 1% CaCl<sub>2</sub>; ALG: fatias imersas em solução com alginato de sódio (1%) e glicerol (1,5%), seguida de imersão em solução com 1% de ácido ascórbico, 1% de ácido cítrico e 1% de cloreto de cálcio

O teor em SST das fatias de figo da Índia (**Figura 3.1 A**) variou significativamente ao longo do período de conservação ( $P = 0,011$ ), mas manteve-se no intervalo de SST característico deste fruto (Feugang *et al.*, 2006; Piga, 2004). No entanto, para este parâmetro, a interação entre o tratamento e dia tendeu a ser significativa ( $P = 0,054$ ), refletindo a diferente variação do teor de SST ao longo do tempo entre fatias de figo da Índia sujeitas a diferentes tratamentos. As fatias do tratamento controle apresentaram um aumento

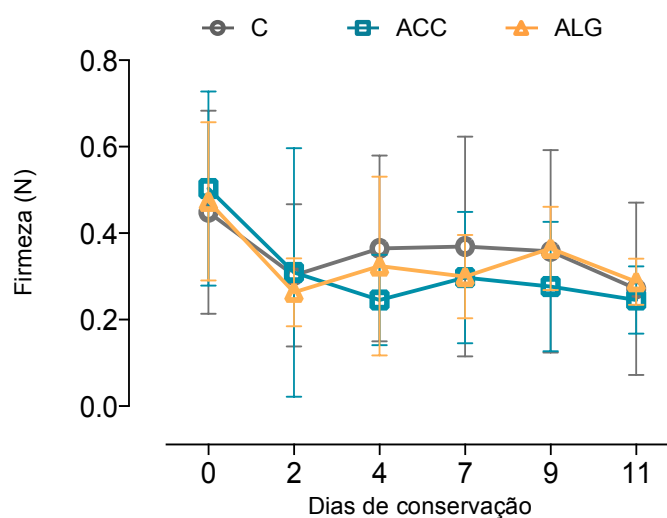
do teor em SST entre o dia 0 e 2 de conservação, mantendo-se relativamente constante até ao final do ensaio. Por outro lado, nas fatias submetidas aos tratamentos ACC e ALG, o teor em SST manteve-se constante durante um maior período de tempo, diminuindo apenas após 7 dias de conservação, sugerindo a eficácia deste tipo de tratamentos na preservação do teor em SST ao longo da conservação. O efeito do processamento mínimo de figo da Índia sobre o teor em SST parece não ser consistente. Piga *et al.* (2003) reportou a manutenção dos valores de SST durante 9 dias de conservação a 4°C em figos da Índia descascados, enquanto que em outro estudo foi observado o aumento do teor em SST ao longo do período de conservação (16 dias a 4°C) tanto em figo da Índia descascado como em frutos descascados e revestidos com quitosano (Ochoa-Velasco *et al.*, 2014). As características do fruto inteiro, o tempo e as condições de armazenamento podem contribuir para explicar a diferença de resultados, mas também o tipo de corte; verificando-se uma maior redução do teor em SST em figo da Índia cortado em fatias ou em metades comparativamente com o fruto inteiro descascado (Marques *et al.*, 2011).

A acidez titulável das fatias de figo da Índia variou entre 0,06 e 0,16% ácido cítrico (**Figura 3.1 B**), de acordo com a baixa acidez característica deste fruto (Moßhammer *et al.*, 2006; Piga, 2004). A acidez titulável das fatias de figo da Índia não variou ao longo do período de conservação ( $P = 0,5067$ ) em todos os tratamentos. No entanto, a acidez foi afetada pelo tratamento aplicado ( $P = 0,031$ ), observando-se menor acidez nas fatias do controlo (0,09% ácido cítrico) comparativamente às dos tratamentos ACC e ALG (0,14% ácido cítrico) em resultado da utilização de compostos acidulantes nestes últimos tratamentos. Contrariamente aos nossos resultados, Montero-Calderón *et al.*, (2008) não observou diferenças nos valores de AT durante o tempo de conservação entre as fatias de ananás imersas numa solução que continha 1% ácido ascórbico e 1% ácido cítrico e as fatias controlo.

O pH das fatias de figo da Índia foi elevado, de acordo com as características típicas deste fruto (Feugang *et al.*, 2006; Moßhammer *et al.*, 2006; Piga, 2004), e variou entre 4,30 e 6,61 (**Figura 3.1 C**). Observou-se, para este parâmetro, interação entre tratamento aplicado e o tempo de conservação ( $P < 0,001$ ). Os tratamentos ACC e ALG conduziram a uma diminuição dos valores de pH comparativamente com o controlo. O pH das fatias dos tratamentos ACC e ALG não se alterou ao longo do período de conservação, enquanto que nas fatias controlo o pH diminuiu.

### 3.2 – Firmeza

A firmeza das fatias de figo da índia diminuiu ao longo do período de conservação, em todos os tratamentos ( $P < 0,001$ ), não existindo diferenças significativas entre tratamentos ( $P = 0,067$ ) (**Figura 3.2**). Observa-se que a maior redução na firmeza ocorreu nos primeiros dias de conservação, variando entre 0,47N no dia do processamento (dia 0) e 0,30N no dia 2, enquanto que entre os dias 2 e 11 a força necessária para penetrar as fatias manteve-se constante (0,27 – 0,33N).



**Figura 3.2** - Variação da firmeza nas fatias de figo da índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C. C: controle; ACC: 1% ácido cítrico + 1% ácido ascórbico + 1% CaCl<sub>2</sub>; ALG: fatias imersas em solução com alginato de sódio (1%) e glicerol (1,5%), seguida de imersão em solução com 1% de ácido ascórbico, 1% de ácido cítrico e 1% de cloreto de cálcio

A aplicação de ambos os tratamentos ACC e ALG às fatias de figo da índia não resultou numa melhoria na manutenção da textura relativamente ao controle. A diminuição da firmeza em frutos minimamente processados deve-se principalmente à perda da estrutura da parede celular, às reações enzimáticas (ação da PME e da PG), e à perda de água nas fatias (Ochoa-Velasco & Guerrero-Beltrán, 2014). Apesar dos tratamentos com CaCl<sub>2</sub> promoverem a manutenção da textura em frutos minimamente processados (Ochoa-Velasco & Guerrero-Beltrán, 2014; Oms-Oliu *et al.*, 2010; Rico *et al.*, 2007), tal não se verificou neste trabalho. Até mesmo a aplicação de um revestimento de alginato não promove a manutenção da firmeza nas fatias de figo da índia, contrariamente ao observado por Tapia *et al.* (2008) em cilindros de papaia. O tempo de imersão da fatia na solução com CaCl<sub>2</sub> poderia ser apontada como uma possível explicação para a ausência de efeito do CaCl<sub>2</sub> na melhoria da firmeza das fatias, no entanto de acordo com Ngamchuachit *et al.*, (2014), o tempo de imersão não influencia a eficácia do tratamento.

### 3.3 – Cor

A cor do fruto minimamente processado é uma das principais características que determina a aceitabilidade do produto pelo consumidor. Na **Tabela 3.1** são apresentadas as variações das coordenadas de cor nas fatias de figo da Índia sujeitas aos vários tratamentos, ao longo do período de conservação. Os resultados mostram que tanto o tratamento aplicado como o tempo de conservação afetam a cor das fatias.

**Tabela 3.1** - Parâmetros da cor em fatias de figo da Índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C

| Tratamento | Dias             | $L^*$  | $a^*$ | $b^*$  | Hue    |
|------------|------------------|--------|-------|--------|--------|
| C          | 0                | 43,2   | 5,61  | 39,4   | 82,5   |
|            | 2                | 40,0   | 5,69  | 39,1   | 81,1   |
|            | 4                | 41,0   | 6,53  | 35,7   | 80,6   |
|            | 7                | 42,5   | 5,69  | 37,0   | 81,0   |
|            | 9                | 43,3   | 5,99  | 39,3   | 81,9   |
|            | 11               | 39,5   | 4,74  | 34,6   | 81,6   |
| ACC        | 0                | 36,8   | 6,40  | 29,9   | 77,9   |
|            | 2                | 36,3   | 6,41  | 28,0   | 76,6   |
|            | 4                | 32,6   | 5,61  | 25,0   | 76,8   |
|            | 7                | 36,8   | 6,77  | 31,4   | 76,7   |
|            | 9                | 35,6   | 6,77  | 28,0   | 74,2   |
|            | 11               | 33,8   | 8,77  | 27,4   | 72,1   |
| ALG        | 0                | 40,3   | 5,25  | 34,7   | 81,3   |
|            | 2                | 31,2   | 6,33  | 21,5   | 73,8   |
|            | 4                | 31,1   | 4,00  | 20,0   | 78,5   |
|            | 7                | 31,9   | 4,81  | 20,1   | 76,4   |
|            | 9                | 32,1   | 6,33  | 20,5   | 72,8   |
|            | 11               | 31,5   | 4,26  | 20,6   | 78,3   |
| EPM        |                  | 1,91   | 1,021 | 2,79   | 1,71   |
| <i>P</i>   | Tratamento       | <0,001 | 0,044 | <0,001 | <0,001 |
|            | Dia              | 0,001  | 0,881 | 0,011  | 0,056  |
|            | Tratamento x Dia | 0,451  | 0,410 | 0,264  | 0,177  |

EPM – Erro Padrão da Média; Diferenças significativas para  $P < 0,05$ ; C: controle; ACC: 1% ácido cítrico + 1% ácido ascórbico + 1%  $\text{CaCl}_2$ ; ALG: fatias imersas em solução com alginato de sódio (1%) e glicerol (1,5%), seguida de imersão em solução com 1% de ácido ascórbico, 1% de ácido cítrico e 1% de cloreto de cálcio

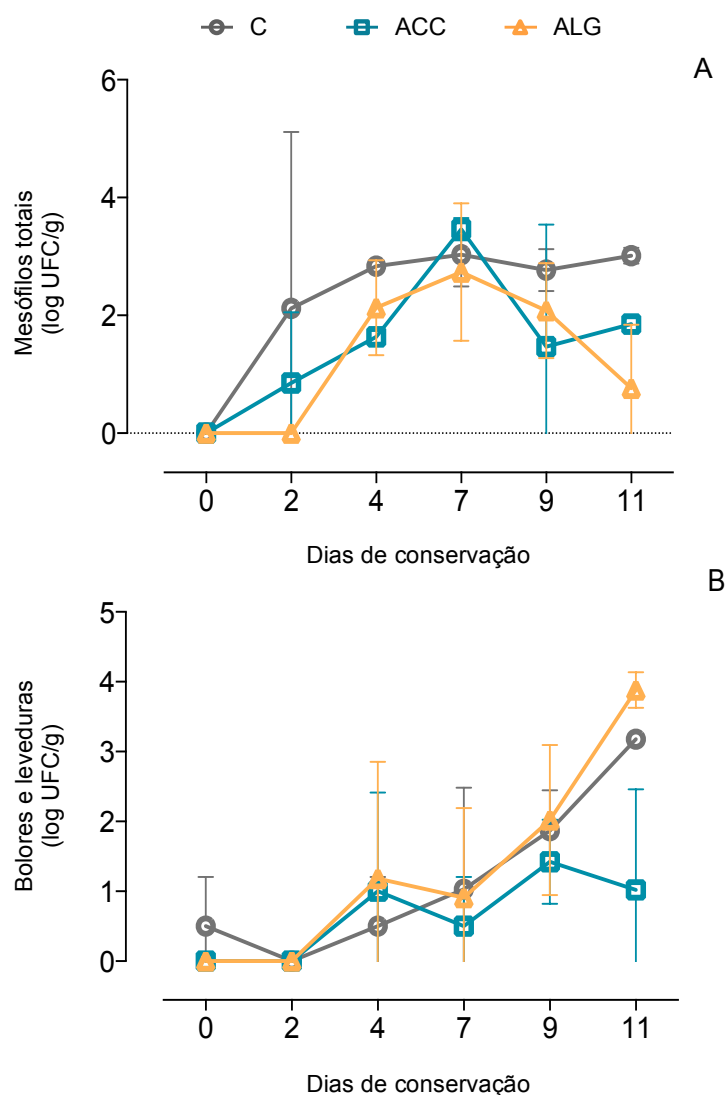
As coordenadas  $L^*$  e  $b^*$  foram afetadas pelo tratamento aplicado ( $P < 0,001$ ) e pelo tempo de conservação ( $P = 0,001$  e  $0,011$ , respetivamente). As fatias do tratamento controle apresentaram maiores valores de  $L^*$  e  $b^*$  comparativamente às fatias dos outros tratamentos. Foram observados maiores valores de  $L^*$  e  $b^*$  nas fatias do tratamento ACC do que nas fatias do tratamento ALG. O efeito do tempo de conservação foi semelhante em ambas as coordenadas  $L^*$  e  $b^*$ , diminuindo significativamente entre os dias 0 e 2 de conservação, enquanto que entre os dias 2 e 11 os valores de  $L^*$  e  $b^*$  mantiveram-se constantes. A

coordenada  $a^*$  foi apenas afetada pelo tratamento ( $P = 0,044$ ), observando-se maior valor de  $a^*$  nas fatias do tratamento ACC (6,79) do que nas fatias do tratamento ALG (5,16). As fatias do tratamento controle apresentaram igual valor de  $a^*$  comparativamente com as fatias dos outros tratamentos (5,71).

A diminuição do valor de  $L^*$  representa o escurecimento do fruto, o que pode ser indicativo de escurecimento enzimático (Ngamchuachit *et al.*, 2014). Em todos os tratamentos houve um decréscimo do valor  $L^*$ , principalmente nos primeiros 2 dias de conservação. Os valores mais elevados em  $L^*$  nas fatias controle comparativamente às fatias dos tratamentos ACC e ALG indicam que não houve inibição das enzimas associadas ao escurecimento enzimático, quer pela adição de  $\text{CaCl}_2$  (Ngamchuachit *et al.*, 2014), quer pela adição de ácido ascórbico (Oms-Oliu *et al.*, 2010; Rico *et al.*, 2007). Em frutos minimamente processados, o consumidor apercebe-se principalmente da tonalidade da polpa do fruto, que pode ser medida pelo ângulo Hue, e não das cores simples ( $a^*$  e  $b^*$ ) (Robles-Sánchez *et al.*, 2009). Neste trabalho o valor de Hue é afetado pelo tratamento ( $P < 0,001$ ) e revela uma tendência em ser afetado também pelo tempo de conservação ( $P = 0,056$ ). As fatias de figo da índia sujeitas aos tratamentos ACC e ALG apresentaram menores valores de Hue (76,2) comparativamente às fatias controle (81,4), indicando uma alteração da tonalidade das fatias em relação às fatias do tratamento controle.

### 3.4 – Análise microbiológica

A estabilidade microbiológica das fatias de figo da índia ao longo dos 11 dias de conservação foi avaliada pela pesquisa de microrganismos mesófilos, psicrófilos, bolores e leveduras. Durante o período de conservação verificou-se o aumento de mesófilos totais (**Figura 3.3 A**) e de bolores e leveduras (**Figura 3.3 B**) nas fatias de figo da índia. Independentemente do tratamento aplicado houve crescimento de mesófilos ( $P = 0,200$ ) e de bolores e leveduras ( $P = 0,304$ ), o que indica que nenhum dos tratamentos aplicados foi eficaz na inibição do crescimento microbiano. Durante os 11 dias de conservação não foram detetados microrganismos psicrófilos, em todos os tratamentos.



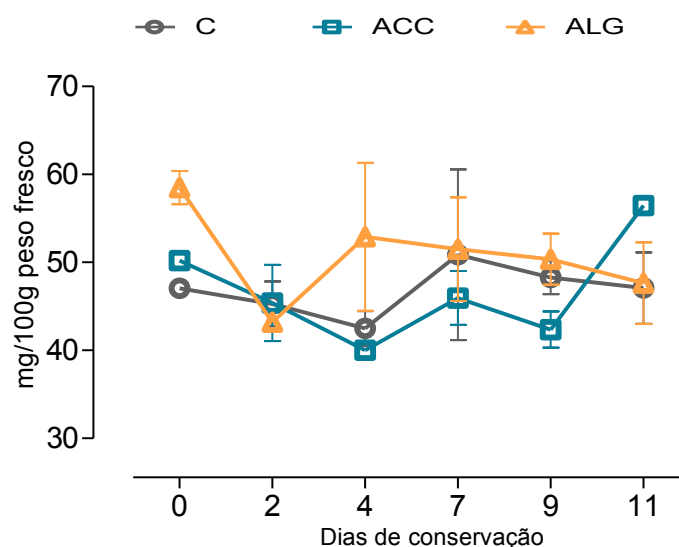
**Figura 3.3** – Crescimento microbiano nas fatias de figo da Índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C. Mesófilos totais - **A** e bolores e leveduras - **B**. C: fatias controle; ACC: fatias imersas em 1% ácido cítrico + 1% ácido ascórbico + 1% CaCl<sub>2</sub>; ALG: fatias imersas em solução com alginato de sódio (1%) e glicerol (1,5%), seguida de imersão em solução com 1% de ácido ascórbico, 1% de ácido cítrico e 1% de cloreto de cálcio

A baixa acidez e o elevado conteúdo em SST característica do figo da Índia é favorável crescimento microbiano. Os tratamentos ACC e ALG conduziram a uma redução do pH nas fatias, no entanto tal não refletiu numa melhoria da qualidade microbiológica comparativamente ao controle. O aumento do crescimento microbiano em fatias de figo da Índia minimamente processadas durante o armazenamento a frio também foi observado por outros autores (Corbo *et al.*, 2004; Del Nobile *et al.*, 2009; Piga *et al.*, 2003, 2000). Em Portugal ainda não estão estabelecidos limites microbiológicos para produtos hortofrutícolas minimamente processados. No entanto, relativamente ao total de microrganismos mesófilos os regulamentos vigentes em Espanha estabelecem o limite de 6 log ufc/g ao processamento e de 7 log ufc/g no final do período de vida útil (BOE, 2001). Embora o total de microrganismos mesófilos encontrado nas fatias de figo da Índia de ambos os tratamentos

aumente ao longo do período de conservação, nunca excede os limites legais estabelecidos em Espanha. O total de bolores e leveduras também foi inferior ao limite recomendado (5 log ufc/g, Debevere, 2006).

### 3.5 – Fenóis Totais

O teor em fenóis totais nas fatias de figo da índia não variou ao longo do tempo conservação ( $P = 0,217$ ), e também não foi afetado pelo tratamento aplicado ( $P = 0,316$ ), sendo em média 48,1 mg/100g peso fresco (**Figura 3.4**).

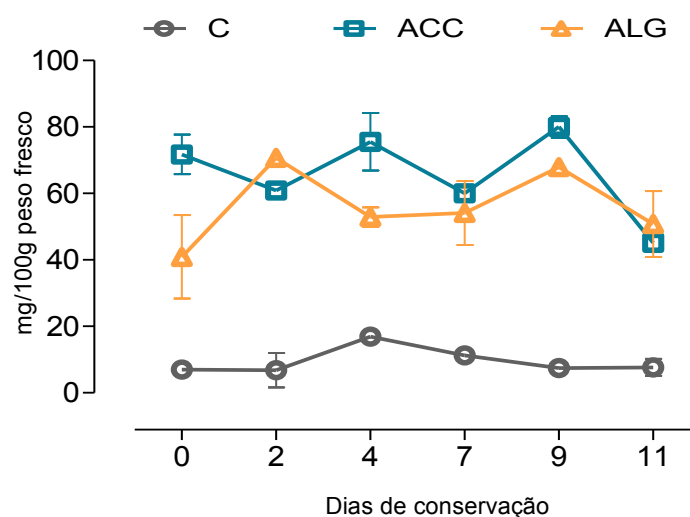


**Figura 3.4** - Conteúdo em fenóis totais nas fatias de figo da índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C. C: controlo; ACC: 1% ácido cítrico + 1% ácido ascórbico + 1% CaCl<sub>2</sub>; ALG: fatias imersas em solução com alginato de sódio (1%) e glicerol (1,5%), seguida de imersão em solução com 1% de ácido ascórbico, 1% de ácido cítrico e 1% de cloreto de cálcio

Piga *et al.* (2003) reportou que o teor em fenóis totais diminuiu a partir do terceiro dia de conservação em figos da índia apenas descascados. Por outro lado no trabalho de Ochoa-Velasco & Guerrero-Beltrán (2014), o teor em fenóis totais aumenta a partir do dia 4 de armazenamento, o que poderá ser devido à sua concentração como resultado da perda de água. No presente trabalho o teor em fenóis totais mantém-se constante ao longo de todo o período de conservação, até mesmo nas fatias controlo. Robles-Sánchez *et al.* (2009) também observou a manutenção do teor em fenóis totais em cubos de manga imersos numa solução semelhante à aplicada no tratamento ACC. Os valores de fenóis totais obtidos para o figo da índia neste ensaio manteve-se constante nas fatias controlo, resultado que foi obtido por Gil *et al.* (2006) em ananás, manga, meloa, melancia, morango e kiwi minimamente processados. Este resultado demonstra que os tratamentos ACC e ALG, aplicados às fatias de figo da índia não alteram o conteúdo em fenóis.

### 3.6 – Ácido ascórbico

Para o conteúdo em ácido ascórbico verificou-se um efeito significativo para o tempo ( $P = 0,027$ ). Nas fatias controlo (C) não se observaram variações significativas ao longo do tempo. Nas fatias que sofreram o tratamento ACC, o conteúdo em ácido ascórbico manteve-se constante até ao dia 9, sendo que diminuiu até ao dia 11. Já nas fatias que sofreram o tratamento ALG, o conteúdo em ácido ascórbico foi igual entre o dia 0 e o dia 11, apesar de terem havido diferenças ao longo do ensaio (**Figura 3.5**). Como esperado a aplicação do ácido ascórbico levou ao aumento dos valores de ácido ascórbico nas fatias dos tratamentos ACC e ALG ( $P < 0,001$ ), relativamente ao controlo.



**Figura 3.5** - Teor em ácido ascórbico (quantificado por HPLC) nas fatias de figo da Índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C. C: controlo; ACC: 1% ácido cítrico + 1% ácido ascórbico + 1%  $\text{CaCl}_2$ ; ALG: fatias imersas em solução com alginato de sódio (1%) e glicerol (1,5%), seguida de imersão em solução com 1% de ácido ascórbico, 1% de ácido cítrico e 1% de cloreto de cálcio

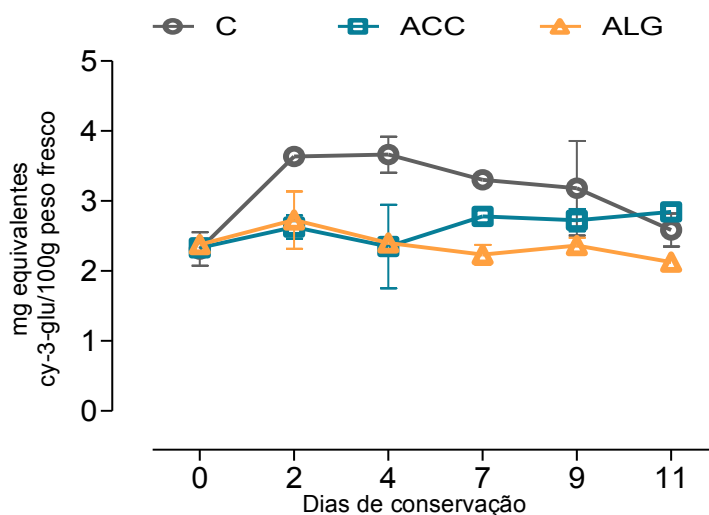
No entanto, os dois tratamentos com ácido ascórbico resultaram em diferentes concentrações de ácido ascórbico nas fatias de figo da Índia, verificando-se maior concentração de ácido ascórbico nas fatias do tratamento ACC (65,6 mg/100g peso fresco) do que nas fatias do tratamento ALG (56,2 mg/100g peso fresco). Estes resultados indicam que a aplicação do ácido ascórbico por imersão foi mais eficaz para incrementar a concentração de ácido ascórbico nas fatias de figo da Índia que a sua associação com o revestimento de alginato de sódio. Tapia *et al.*, (2008) observou que em cubos de papaia, o revestimento de alginato proporcionou uma melhor retenção do ácido ascórbico ao longo do tempo comparativamente aos cubos sem revestimento, possivelmente devido à barreira ao oxigénio criada por este filme, o que limita a oxidação do ácido ascórbico. Este efeito foi revisto por Oms-Oliu *et al.*, (2010), onde apresenta vários exemplos de que a incorporação de ácido ascórbico, em revestimentos de alginato e gelano, permite melhores resultados do que a simples imersão numa solução aquosa de ácido ascórbico.



Piga *et al.*, (2000, 2003) verificou que em figos da Índia inteiros descascados (sem nenhum tipo de processamento além do descasque), o conteúdo em ácido ascórbico manteve-se constante ao longo do ensaio (cerca de 9 dias). Do mesmo modo, observou-se neste ensaio que nas fatias controlo o conteúdo em ácido ascórbico não se alterou significativamente ao longo do tempo, sendo que estas sofreram mais uma etapa de processamento, o corte em fatias. Conclui-se então que o corte do figo da Índia em fatias não acelera a deterioração do conteúdo em ácido ascórbico e que a imersão ou impregnação num filme comestível podem ser duas formas de aumentar a sua disponibilidade para o consumidor. Ao comparar o conteúdo em ácido ascórbico do figo da Índia com os valores obtidos por Pantelidis *et al.* (2007) em amoras silvestres e framboesas, observa-se que as fatias de figo da Índia sem tratamento possuem valores semelhantes aos encontrados nestas espécies frutícolas e que podem ser incrementados através da aplicação dos tratamentos ACC e ALG.

### 3.7 – Antocianidinas

O conteúdo em antocianidinas nas fatias de figo da Índia não variou ao longo dos dias de conservação ( $P = 0,115$ ), no entanto influência dos tratamentos ( $P = 0,019$ ) (**Figura 3.6**). As fatias de figo da Índia que sofreram os tratamentos ACC e ALG apresentaram valores muito semelhantes ao longo do ensaio (2,49 mg Eq. cy-3-glu/100g peso fresco), que foram relativamente mais baixos que os valores apresentados pelas fatias controlo (3,11 mg Eq. cy-3-glu/100g peso fresco).

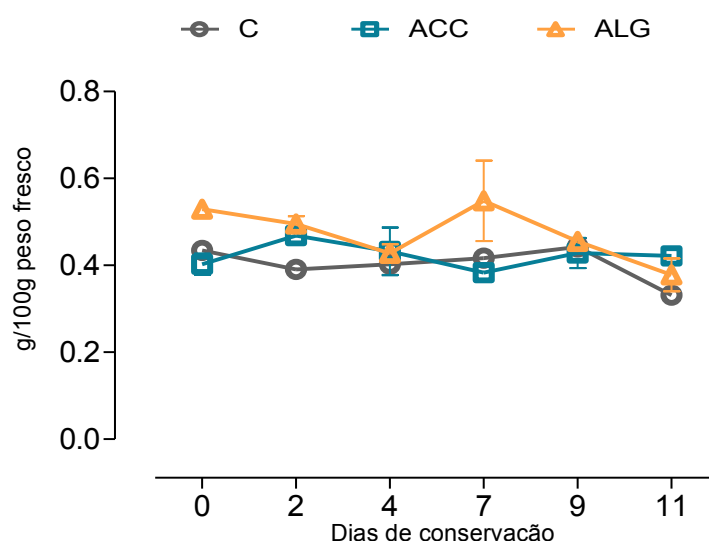


**Figura 3.6** - Conteúdo em antocianidinas ao longo de 11 dias de conservação a 4°C. C: controlo; ACC: 1% ácido cítrico + 1% ácido ascórbico + 1% CaCl<sub>2</sub>; ALG: fatias imersas em solução com alginato de sódio (1%) e glicerol (1,5%), seguida de imersão em solução com 1% de ácido ascórbico, 1% de ácido cítrico e 1% de cloreto de cálcio

Gil *et al.* (2006) reportou que em morangos minimamente processados não houve mudanças significativas no conteúdo em antocianinas, ao longo do período de conservação. Apesar de serem frutos diferentes, o comportamento dos compostos é semelhante, ou seja, mantém-se igual durante o período de conservação.

### 3.8 – Carotenóides

O conteúdo em carotenóides nas fatias de figo da índia não variou ao longo do tempo ( $P = 0,054$ ), no entanto foi afetado pelo tratamento aplicado ( $P = 0,038$ ), observando-se maior concentração de carotenóides nas fatias do tratamento ALG (0,472 g/100g peso fresco), comparativamente com as às fatias ACC e controlo (0,413 g/100g peso fresco) (**Figura 3.7**).

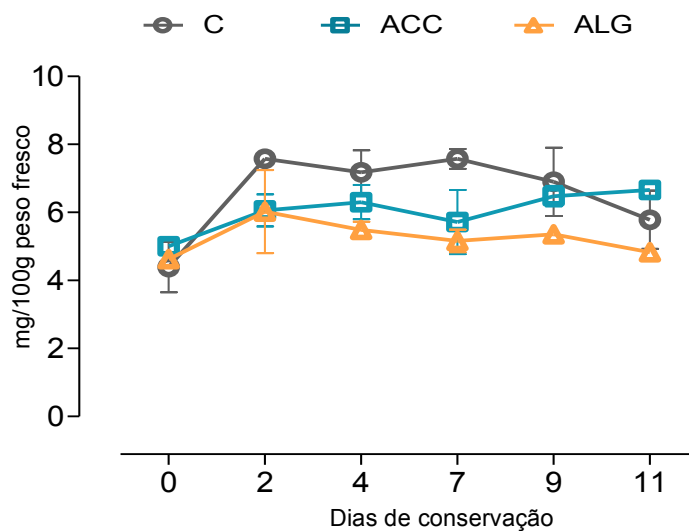


**Figura 3.7** – Conteúdo em carotenóides ao longo de 11 dias de conservação a 4°C. C: controlo; ACC: 1% ácido cítrico + 1% ácido ascórbico + 1% CaCl<sub>2</sub>; ALG: fatias imersas em solução com alginato de sódio (1%) e glicerol (1,5%), seguida de imersão em solução com 1% de ácido ascórbico, 1% de ácido cítrico e 1% de cloreto de cálcio

Os valores de carotenóides encontrados no presente trabalho estão de acordo com os apresentados por Feugang *et al.* (2006). A imersão das fatias (ACC) não provocou diferenças nos valores observados, relativamente às fatias controlo. Como já referido, nas fatias do tratamento ALG a quantidade de carotenóides foi um pouco superior à obtida nas fatias dos outros tratamentos, pelo que se supõe que o filme aplicado poderá criar uma barreira que minimize a degradação dos carotenóides. No estudo efetuado por Robles-Sánchez *et al.*, (2009) em manga minimamente processada conclui-se também que o tratamento por imersão efetuado a cubos de manga não induz qualquer variação no conteúdo em carotenóides, comparativamente com os cubos controlo. Já Gil *et al.*, (2006) observou que em cubos de meloa, manga e ananás há um decréscimo no teor em carotenóides ao longo de 9 dias de conservação.

### 3.9 – Betalainas

Neste trabalho apenas foram quantificadas as betaxantinas, pigmentos responsáveis pela cor laranja-amarelada (Yahia & Mondragon-Jacobo, 2011). O conteúdo em betaxantinas variou ao longo do tempo de conservação nas várias fatias ( $P = 0,019$ ), no entanto não diferiu entre o dia 0 e o dia 11 de conservação. A aplicação dos tratamentos não afetou o conteúdo de betaxantinas nas fatias de figo da índia ( $P = 0,052$ ).

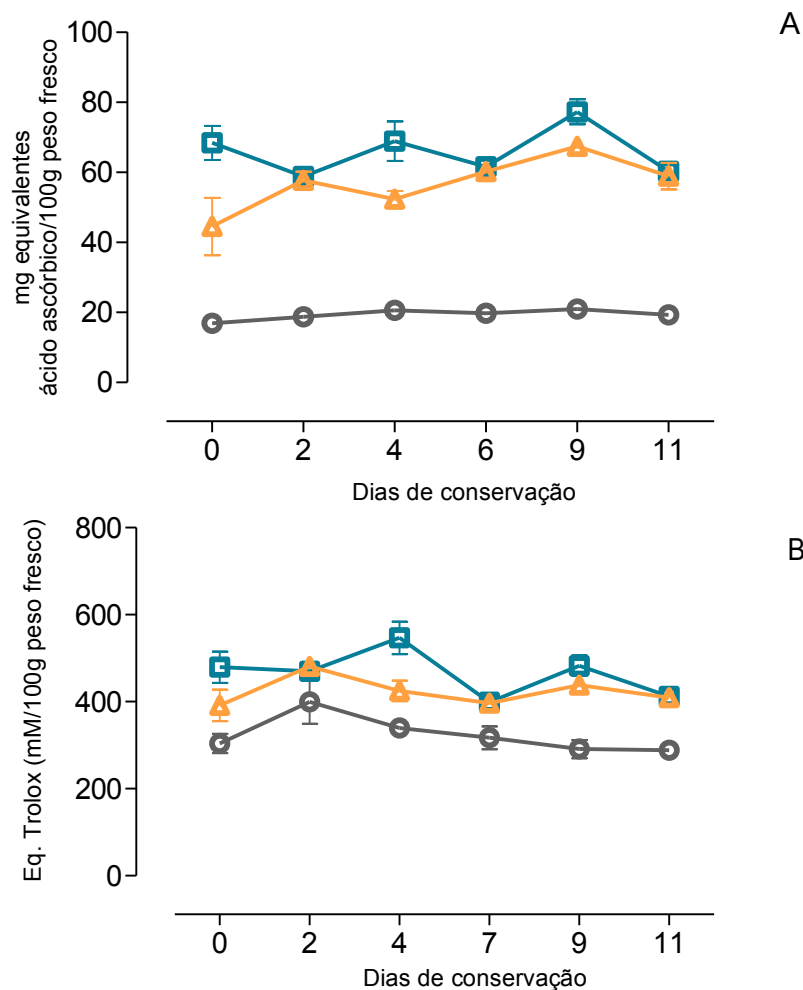


**Figura 3.8** - Conteúdo em betaxantinas nas fatias de figo da índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C. C: controle; ACC: 1% ácido cítrico + 1% ácido ascórbico + 1% CaCl<sub>2</sub>; ALG: fatias imersas em solução com alginato de sódio (1%) e glicerol (1,5%), seguida de imersão em solução com 1% de ácido ascórbico, 1% de ácido cítrico e 1% de cloreto de cálcio

Os valores de betaxantinas encontrados nas fatias (5,95 mg/100g peso fresco) estão de acordo com os apresentados por Butera *et al.* (2002) em figos da índia de polpa laranja.

### 3.10 – Atividade antioxidante

Através dos ensaios do DPPH e do radical ABTS<sup>•+</sup> determinou-se a atividade antioxidante das fatias de figo da índia. Os resultados dos ensaios de DPPH e do radical ABTS<sup>•+</sup> são apresentados nas **Figura 3.9 A** (DPPH) e **3.9 B** (ABTS<sup>•+</sup>).



**Figura 3.9** - Atividade antioxidante nas fatias de figo da índia ao longo de 11 dias de conservação a 4°C, observada pelo método do DPPH (A) e pelo método do radical ABTS<sup>•+</sup> (B). C: controle; ACC: 1% ácido cítrico + 1% ácido ascórbico + 1% CaCl<sub>2</sub>; ALG: fatias imersas em solução com alginato de sódio (1%) e glicerol (1,5%), seguida de imersão em solução com 1% de ácido ascórbico, 1% de ácido cítrico e 1% de cloreto de cálcio

Resultados de ambos os ensaios mostram que a aplicação de ácido ascórbico às fatias de figo da índia quer por imersão (tratamento ACC) quer veiculado no revestimento de alginato (tratamento ALG) levou ao aumento da atividade antioxidante comparativamente com o controle ( $P = 0,001$  para DPPH,  $P = 0,007$  para ABTS<sup>•+</sup>). Pelo ensaio de DPPH as fatias dos tratamentos ALG e ACC apresentaram uma atividade antioxidante aproximadamente três vezes superior à verificada nas fatias do controle (61,4 mg AAE/100g peso fresco vs. 19,4 mg AAE/100g peso fresco). Pelo ensaio do radical ABTS<sup>•+</sup>, também se observou maior atividade antioxidante nas fatias de figo da índia dos tratamentos ACC e ALG (444 mM Trolox/100g peso fresco) do que nas fatias do controle (323 mM Trolox/100g peso fresco). A maior atividade antioxidante encontrada nas fatias dos tratamentos ACC e ALG está associado ao seu teor em ácido ascórbico, que também foi superior nestas fatias. A atividade antioxidante das fatias controle não variou ao longo do tempo, já nas fatias dos tratamentos ACC e ALG verificaram-se flutuações na atividade antioxidante ao longo do

tempo de conservação. No entanto a atividade antioxidante das fatias não diferiu entre o início (dia 0) e o final do ensaio (dia 11). Piga *et al.* (2003) observou que em figos inteiros descascados houve uma manutenção da capacidade antioxidante do figo da índia durante 9 dias de conservação a 4°C. Já Ochoa-Velasco & Guerrero-Beltrán (2014) observaram que em figos revestidos por uma mistura de quitosano e ácido acético, a capacidade antioxidante manteve-se até ao quarto dia de conservação, dia a partir do qual aumentou até ao fim do armazenamento. No trabalho de Robles-Sánchez *et al.*, (2009) foi feita uma imersão numa solução igual à utilizada neste trabalho (1% ácido ascórbico, 1% ácido cítrico, 1% cloreto de potássio) em cubos de manga. Os resultados obtidos são muitos semelhantes aos obtidos nas fatias de figo da índia, existindo uma maior capacidade antioxidante nos cubos/fatias tratados comparativamente ao controlo.

A aplicação de vários revestimentos comestíveis para a preservação da qualidade figo da índia minimamente processado já foi previamente explorado (Del Nobile *et al.*, 2009), no entanto tanto quanto sabemos a combinação de compostos químicos com revestimentos como forma de melhorar a qualidade e aumentar o tempo de vida útil de fatias de figo da índia foi testado pela primeira vez neste estudo. Vários trabalhos mostram que a eficácia dos compostos químicos normalmente usados para a preservação da qualidade dos frutos minimamente processados pode ser melhorada por incorporação em revestimentos comestíveis. No entanto, em contraste com estes resultados, a combinação dos compostos químicos com o revestimento de alginato (tratamento ALG) não teve efeito relevante sobre a qualidade das fatias de figo da índia comparativamente com a aplicação dos compostos químicos por imersão (tratamento ACC).



#### 4 – Conclusões

O trabalho apresentado na presente tese teve como objetivo avaliar as alterações de qualidade de fatias de figo da índia sujeitas a diversos tratamentos e mantidas a 4°C, durante um período de 11 dias. Para além disso, também se pretendia avaliar a eficácia da aplicação de ácido ascórbico, ácido cítrico e de cloreto de cálcio por imersão ou em combinação com um revestimento de alginato de sódio na manutenção da qualidade das fatias de figo da índia.

Os resultados mostram que os parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade das fatias de figo da índia são afetados principalmente pelo tempo de conservação, sendo o efeito dos tratamentos limitado ao pH, acidez titulável e alguns parâmetros de cor. As alterações físico-químicas observadas nas fatias de figo da índia ao longo do tempo ocorreram principalmente nos 2 primeiros dias de armazenamento. Relativamente ao efeito dos tratamentos, verificou-se que a aplicação dos compostos por imersão ou combinados com o revestimento de alginato levou à redução do pH e aumento da acidez titulável nas fatias de figo da índia, sem qualquer efeito ao nível da textura ou melhorias na manutenção da cor. No entanto, estes tratamentos (ACC e ALG) conduziram ao aumento do conteúdo em ácido ascórbico e da atividade antioxidante nas fatias de figo da índia, bem como possibilitaram a manutenção de valores constantes de pH ao longo do ensaio. De salientar que a redução do pH provocada pela aplicação dos tratamentos ACC e ALG não se refletiu numa melhor qualidade microbiológica das fatias ao longo do período de conservação, uma vez que as fatias sujeitas a estes tratamentos apresentaram igual desenvolvimento microbiano ao observado nas fatias do tratamento controlo.

Ao contrário do verificado para os parâmetros físico-químicos e qualidade microbiológica que variaram ao longo do tempo de conservação, e atividade antioxidante e os teores em fenóis totais, ácido ascórbico, antocianidinas, carotenóides e em betaxantinas das fatias de figo da índia permaneceram relativamente constantes ao longo do armazenamento, independentemente do tratamento. O conteúdo em ácido ascórbico coloca o figo da índia ao nível dos frutos vermelhos, reconhecidos pelas suas propriedades antioxidantes, e sendo ainda economicamente mais rentável. Os resultados indicam assim, que o figo da índia pode ser apresentado sob a forma de fatias mantendo o seu conteúdo em compostos bioativos e a atividade antioxidante. No entanto mais estudos devem ser realizados a fim de limitar o crescimento microbiano e as alterações físico-químicas, que ocorrem principalmente durante os primeiros dias de conservação a 4°C.





## 5 – Bibliografia

- Ahvenainen, R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Food Science & Technology*, 71, 179–187.
- Altunkaya, A., & Gökmen, V. (2011). Purification and characterization of polyphenol oxidase, peroxidase and lipoxygenase from freshly cut lettuce (*L. sativa*). *Food Technology and Biotechnology*, 49(2), 249–256.
- Asami, D., Hong, Y., Barrett, D., & Mitchell, A. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1237–1241.
- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H.M., Tan, C.P., and Mohd Adzahan, N. (2012). Optimization of alginate and gellan-based edible coating formulations for fresh-cut pineapples. *International Food Research Journal*, 19(1), 279–285.
- Barrett, D., Beaulieu, J., & Shewfelt, R. (2010). Color, Flavor, Texture and Nutritional Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement and the Effects of Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition in Food Science and Nutrition*, 50, 369–389.
- Barros, S. (2007). Metodologias integradas para a conservação de kiwi minimamente processado. *Tese de Doutorado*.
- Basile, F. (2001). Economic Aspects of Italian Cactus Pear Production and Market \*, *Journal of the Professional Association for Cactus Deleopment*, 31–46.
- Bezerra da Costa, F., Sulino, R. F., Oliveira, M. N., Santana da Costa, P., & do Vale Costa, R. T. R. (2013). Changes in chlorophyll , anthocyanins and phenolic compounds concentration in fresh-cut onion. *Postharvest Technology and Innovation*, 3(1), 63–72.
- Boletín Oficial del Estado, BOE (2001). Normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas, Madrid, Spain, Real Decreto, 3484/2000, 1435-1441
- Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Pintaudi, A., Livrea, M. (2002). Antioxidant activities of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6895–6901.

- Cefola, M., Renna, M., & Pace, B. (2014). Marketability of ready-to-eat cactus pear as affected by temperature and modified atmosphere. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 25–33.
- Chisari, M., Barbagallo, R. N., & Spagna, G. (2007). Characterization of polyphenol oxidase and peroxidase and influence on browning of cold stored strawberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(9), 3469–76.
- Corbo, M. ., Altieri, C., D'Amato, D., Campaniello, D., Del Nobile, M. ., & Sinigaglia, M. (2004). Effect of temperature on shelf life and microbial population of lightly processed cactus pear fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 31(1), 93–104.
- Del Nobile, M. a., Conte, a., Scrocco, C., & Brescia, I. (2009). New strategies for minimally processed cactus pear packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(3), 356–362.
- Debevere J (2006). Valeurs microbiologiques indicatives & critères microbiologiques légaux. FAC SCI BIO-ING Univ Gent.
- Feugang, J.M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F.C., Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*, 11(1), 2574–2589.
- Francis, G. A., Gallone, A., Nychas, G. J., Sofos, J. N., Colelli, G., Amodio, M. L., & Spano, G. (2012). Factors Affecting Quality and Safety of Fresh-Cut Produce. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52, 595–610.
- Gil, M., Aguayo, E., & Kader, A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 4284–4296.
- Guevara-Figueroa, T., Jiménez-Islas, H., Reyes-Escogido, M. L., Mortensen, A. G., Laursen, B. B., Lin, L.-W., ... Barba de la Rosa, A. P. (2010). Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 525–532.
- James, J., & Ngarmak, T. (2011). Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A TECHNICAL GUIDE. *FAO Agricultural Service Bulletin*.
- Karioti, A. N., Itina, D. I. H. A., Ensah, M. E. L. K. M., Leischer, T. H. C. F., & Kaltsa, H. E. S. (2004). Composition and Antioxidant Activity of the Essential Oils of *Xylopia aethiopica*

- (Dun) A. Rich. (Annonaceae) leaves, stem bark, root bark and fresh and dried fruits, growing in Ghana. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 8094–8098.
- Kendra, K. V. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT - Food Science and Technology*, 43(3), 381–392.
- Kgatla, T., Howard, S., & Hiss, D. (2010). The effects of processing and preservation on the sensory qualities of prickly pear juice. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 44, 871–878.
- Lee, J. Y., Park, H. J., Lee, C. Y., & Choi, W. Y. (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *LWT - Food Science and Technology*, 36(3), 323–329.
- Luciano, G., Vasta, V., Monahan, F. J., López-Andrés, P., Biondi, L., Lanza, M., & Priolo, a. (2011). Antioxidant status, colour stability and myoglobin resistance to oxidation of longissimus dorsi muscle from lambs fed a tannin-containing diet. *Food Chemistry*, 124(3), 1036–1042.
- Ma, Y., Wang, Q., Hong, G., & Cantwell, M. (2010). Reassessment of treatments to retard browning of fresh-cut Russet potato with emphasis on controlled atmospheres and low concentrations of bisulphite. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(7), 1486–1494.
- Marques, K. M., Mattiuz, B., Maria, C., Morgado, A., Galati, V. C., Carolina, A. N. A., & Miguel, A. (2011). FORMAS DE PREPARO DE FIGO-DA-ÍNDIA. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, Volume Esp*, 606–611.
- Martins, S. (2011). *Avaliação do potencial biológico de Opuntia ficus-indica (Figueira da Índia)* - Tese de Mestrado
- Montero-Calderón, M., Rojas-Graü, M. A., & Martín-Belloso, O. (2008). Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (Ananas comosus). *Postharvest Biology and Technology*, 50(2-3), 182–189.
- Morga, J. A., Bolanos, E. N. A., Silva, E. M., (2006) Effect of storage temperature on quality of minimally processed cactus pear, Proceedings of the Vth International Congress on Cactus Pear and Cochineal, *ACTA HORTICULTURAE* 728, 217-222
- Morga, J. A., Bolanos, E. N. A., Silva, E. M., (2006) Effect os controlled atmosphere on the preservation of minimally processed cactus pears Proceedings of the Vth International Congress on Cactus Pear and Cochineal, *ACTA HORTICULTURAE* 728, 211-216

- Moßhammer, M., Stintzing, F., & Carle, R. (2006). Cactus pear fruits (*Opuntia* spp.): A review of processing technologies and current uses. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 8, 1–25.
- Ngamchuachit, P., Sivertsen, H., Mitcham, E., & Barrett, D. (2014). Effectiveness of Calcium Chloride and Calcium Lactate on Maintenance of Textural and Sensory Qualities of Fresh-Cut Mangos. *Journal of Food Science*, 79(5), 786–794.
- Ochoa-Velasco, C. E., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2014). Postharvest quality of peeled prickly pear fruit treated with acetic acid and chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 139–145.
- Olivas, G. I., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(7-8), 657–70.
- Oms-Oliu, G., Rojas-Graü, M. A., González, L. A., Varela, P., Soliva-Fortuny, R., Hernando, M. I. H., Martín-Belloso, O. (2010). Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 57(3), 139–148.
- Pantelidis, G. E., Vasilakakis, M., Manganaris, G. A., Diamatidis, Gr. (2007) Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, blackberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries, *Food Chemistry* 102, 777-783
- Piga, A. (2004). Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Deleopment*, (February), 9–22.
- Piga, A., Caro, A. D., Pinna, I., & Agabbio, M. (2003). Changes in ascorbic acid, polyphenol content and antioxidant activity in minimally processed cactus pear fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 36(2), 257–262.
- Piga, A., D'Aquino, S., Agabbio, M., Emonti, G., & Farris, G. a. (2000). Influence of Storage Temperature on Shelf-life of Minimally Processed Cactus Pear Fruits. *LWT - Food Science and Technology*, 33(1), 15–20.
- Ramos, O. L., Fernandes, J. C., Silva, S. I., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2012). Edible films and coatings from whey proteins: a review on formulation, and on mechanical and bioactive properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(6), 533–52.
- Raybaudi-Massilia, R. M., Mosqueda-Melgar, J., & Martín-Belloso, O. (2008). Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melon. *International Journal of Food Microbiology*, 121(3), 313–27.

- Rico, D., Martín-Diana, a. B., Barat, J. M., & Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(7), 373–386.
- Robles-Sánchez, R. M., Rojas-Graü, M., Odriozola-Serrano, I., González-Aguilar, G. a., & Martín-Belloso, O. (2009). Effect of minimal processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut “Kent” mango (*Mangifera indica* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 51(3), 384–390.
- Rojas-Graü, M. A., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(5), 875–889.
- Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 20(10), 438–447.
- Rojas-Graü, M. a., Tapia, M. S., & Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT - Food Science and Technology*, 41(1), 139–147.
- Semedo, A. (2012). *Compostos bioativos de Opuntia ficus indica*. Não esta completa
- Serrano, M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Guillén, F., & Valero, D. (2004). Role of calcium and heat treatments in alleviating physiological changes induced by mechanical damage in plum. *Postharvest Biology and Technology*, 34(2), 155–167.
- Sila, D. N., Duvetter, T., De Roeck, A., Verlent, I., Smout, C., Moates, G. K., ... Van Loey, A. (2008). Texture changes of processed fruits and vegetables: potential use of high-pressure processing. *Trends in Food Science & Technology*, 19(6), 309–319.
- Sivakumar, D., & Fallik, E. (2013). Influence of Heat Treatments on Quality Retention of Fresh and Fresh-Cut Produce. *Food Reviews International*, 29(3), 294–320.
- Soliva-Fortuny, R. C., & Martín-Belloso, O. (2003). New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 14(9), 341–353.
- Tapia, M., Rojas-Graü, M., Carmona, A., Rodríguez, F., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Use of alginate-and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids*, 22, 1493–1503.

- Toivonen, P. M. a., & Brummell, D. a. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48(1), 1–14.
- Watada, A. E., & Qi, L. (1999). Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 201–205.
- Yahia, E. M., & Mondragon-Jacobo, C. (2011). Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). *Food Research International*, 44(7), 2311–2318.

## 6 – Anexos

**Anexo 1** – Abstract apresentado no 12º Encontro de Química dos Alimentos, Instituto Superior de Agronomia (10, 11 e 12 de Setembro)

### **Effect of minimally processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut cactus pear fruit**

*David Soldado<sup>a</sup>, Flávia Fernandes<sup>a</sup>, Daniela Rodrigues<sup>a</sup>, Miguel Ferro<sup>a</sup>, Maria da Conceição Fernandes<sup>a</sup>, Eliana Jerónimo<sup>a</sup>,*

Cactus pear (*Opuntia ficus indica*) is a tropical fruit with nutraceutical and functional importance, which has attracted great interest by consumers and farmers. In the last few years we are assisting to an implementation of the *Opuntia* cactus orchards in several regions of Portugal. However, not only the presence of spines on fruit surface, but also the lack of knowledge on its preparation and consumption constitutes a limitation to the diffusion of this fruit. Therefore, preparation of ready-to-eat cactus pear could be an opportunity to increase its consumption and production. The minimally processed fruits are characterized by their high perishability, occurring undesirable changes in fruit colour and texture, development of off-flavour and microbial spoilage, but also changes in the nutritional value, by loss of bioactive compounds. So, the objective of this work was to evaluate the effectiveness of application of chemical compounds by dipping or combined with alginate coating to minimise the nutritional loss during storage time. Cactus pears (orange colour) were harvested from spontaneous plants in Vimieiro (Évora, Portugal). After removal the spines, fruits were sanitized with sodium hypochlorite solution, washed with tap water, dried and cut into slices (ca. 1 cm thickness). Slices were randomly assigned for each of the following treatments: i) Control – slices were not subjected to any manipulation (C); ii) immersion of slices in 1% (w/v) of citric acid, 1% (w/v) of ascorbic acid and 1% (w/v) of calcium chloride for 1 min (ACC); and iii) immersion of slices in alginate solution, followed the immediately immersion in 1% (w/v) of citric acid, 1% (w/v) of ascorbic acid and 1% (w/v) of calcium chloride for 1 min (ALG). Glycerol (1.5% w/v) was added as plasticizer to alginate solution. Slices were then dry, randomly distributed into polypropylene plastic boxes and stored at 4°C for 11 day. The following parameters were evaluated during storage period: content of ascorbic acid by high performance liquid chromatography (HPLC), total phenols content using Folin-Ciocalteu method and antioxidant activity by scavenging capacity of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assays.

Treatments ACC and ALG resulted to significant increase ( $P < 0.001$ ) of the ascorbic acid (AA) content in cactus pear slices comparatively with control (1.07 mg AA/100 g fresh

weight (FW)). Dipping treatment induced to higher AA content than coating (6.56 vs. 5.62 mg AA/100 g FW in ACC and ALG treatments, respectively). No significant differences were found in AA content at the end of storage compared to initial values. Treated cactus pear slices also showed higher total phenols content than control slices ( $P = 0.002$ ; 88.9 vs. 53.9 mg gallic acid equivalents/100 g FW in treated and untreated slices, respectively). The Folin-Ciocalteu reagent is not exclusively specific for phenolics, reacting with other reducing agents; therefore the treatment of slices with antioxidants may be responsible for the overestimation of the total phenols content. The total phenols content remained unchanged over the whole storage period in slices from both treatments ( $P < 0.05$ ). Results on antioxidant activity, determined by both assays were consistent, observing higher antioxidant activity in treated cactus pear slices (61.4 mg AA equivalents/100g FW and 444.3 mM Trolox/100g FW by in DPPH and TEAC assays, respectively) than in controls (19.4 mg AA equivalents/100g FW and 323 mM Trolox/100g FW by DPPH and TEAC assays, respectively). At the end of the storage period, antioxidant activity was not significantly different from the initial values, although in treated slices some fluctuations were observed during storage period.

The application of antioxidants, either by dipping as combined with alginate coating resulted in an increased of the bioactive compounds and antioxidant activity of cactus pear slices. Although, the dipping treatment has allowed higher content of AA than coating, cactus pear slices from both treatments showed similar antioxidant activity. Both strategies were effective to maintain the levels of bioactive compounds and bioactivity of fruit slices over the whole storage period.



**Anexo 2 – Poster apresentado no 12º Encontro de Química dos Alimentos, Instituto Superior de Agronomia (10, 11 e 12 de Setembro)**

## Effect of minimal processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut cactus pear



David Soldado, Flávia Fernandes, Daniela Rodrigues, Miguel Ferro, Maria Conceição Fernandes, Eliana Jerónimo

Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo (CEBAL) / Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), 7801-908 Beja, Portugal  
E-mail: eliana.jeronimo@cebal.pt



**cebal** Centro de Biotecnologia Agrícola e Agro-Alimentar do Alentejo

### Aim

Evaluate the effectiveness of application of chemical compounds – ascorbic acid and citric acid by dipping or combined with alginate coating to minimise the nutritional loss of minimally processed cactus pear fruits during storage time

### Conclusions

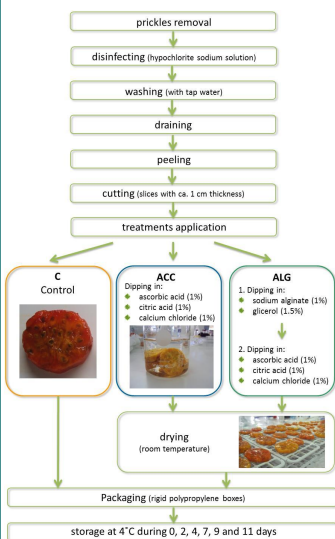
- ✓ Application of ascorbic acid either by dipping as combined with alginate coating increased the acid ascorbic content and antioxidant activity in cactus pear slices
- ✓ Dipping treatment was more effective to increase the ascorbic acid content in cactus pear slices than the coating treatment
- ✓ Preservation of the ascorbic acid and total phenols contents and antioxidant activity in cactus pear slices during storage time for all treatments

### Material & Methods

#### Cactus pear fruits

- *Opuntia ficus indica*, orange type
- Harvested from spontaneous plants in Vimieiro, Évora, Portugal

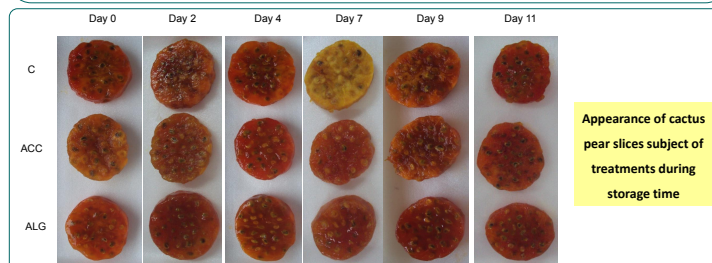
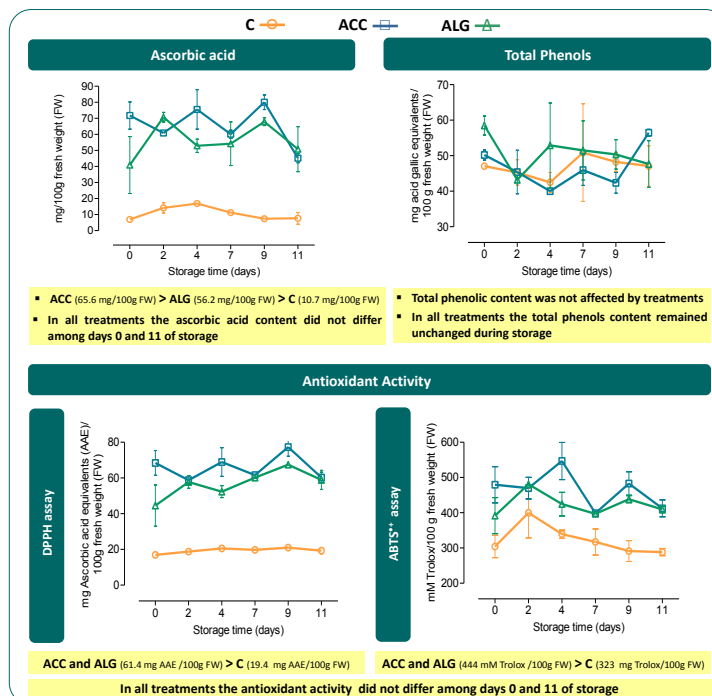
#### Minimally Processing



#### Analytical determinations

- 1. Extraction**
  - Methanolic extract (20 g fruit extracted with 80 % (v/v) methanol)
- 2. Bioactive compounds**
  - Ascorbic acid (HPLC)
  - Total phenols (Folin-Ciocalteu assay)
  - Correction of the total phenols content by discount of the ascorbic acid contribution to Folin-Ciocalteu assay
- 3. Antioxidant activity**
  - DPPH assay
  - ABTS<sup>•+</sup> assay

### Results



Acknowledgments: A2 Transfer



**Anexo 3** – Rectas de calibração para os ensaios de fenóis totais, ácido ascórbico, carotenóides, DPPH e ABTS<sup>+</sup>, nas fatias de figo da Índia

